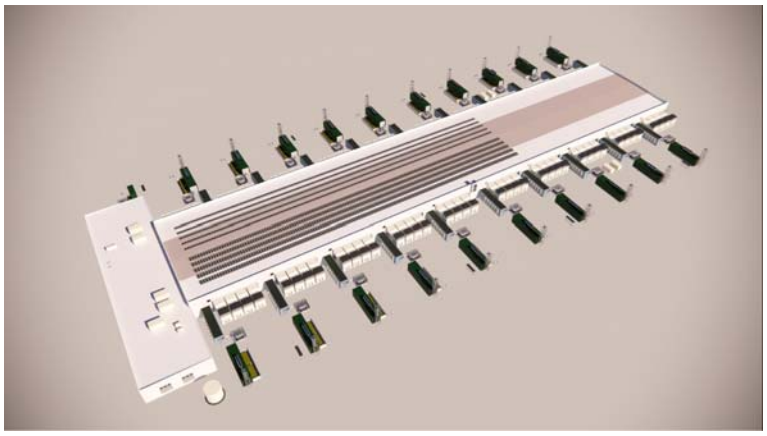
COMUNE di NOVIGLIO

Piazza Roma, 1 - 20082 Noviglio (MI)

COMMITTENTE

NOVIGLIO DATACENTERS MXP I S.R.L.

via Broletto, 35 - 20121 MILANO



PROGETTO ARCHITETTONICO
STARCHING

Ripa di Porta Ticinese 75 - 20143 MILANO
tel 0287283000 fax 0287283067 e-mail mailbox@starching.it
Via Cristoforo Colombo 456 - 00145 ROMA
tel 0657287146 fax 0657138081 e-mail
mailbox.roma@starching.it

GEOLOGO
SoilData
STUDIO ASSOCIATO

via Mario Greppi, 34/A - 23899 Robbiate (LC)
tel 0399280280 fax 0399289091 e-mail soildata@soildata.it

CONSULENTE ACUSTICO
TECNICAMBIENTE

Via Vincenzo Russo 9 - 20127 MILANO
tel/fax 0228040510 e-mail info@tecnicambiente.it

PROGETTO IMPIANTI
ARIATTA
INGEGNERIA DEI SISTEMI SPA

Via Elba, 12 - 20144 MILANO
tel 024990271 fax 024692845 e-mail ariatta@ariatta.it

CONSULENTE OPERE ESTERNE
Ingegneri Consulenti

Via Frua 22 - 20146 MILANO
tel 0248518862 e-mail info@ingegnericonsulenti.com

PROGETTO STRUTTURALE
Redesco
Structural
Engineering

Via Vincenzo Gioberti, 5 - 20123 MILANO
tel 024699020 fax 02436478 e-mail redesco@redesco.it

CONSULENTE PAESAGGIO
P'NV

Via Vincenzo Vela, 1 - 20133 MILANO
tel 0283548848 e-mail info@parcnouveau.com

PROGETTAZIONE ANTINCENDIO
AFC Srl
sicurezza a 360 gradi

Via Leon Battista Alberti, 6 - 20149 MILANO
tel/fax +39 0245479688 e-mail info@afcsrl.it

Oggetto

PERMESSO DI COSTRUIRE

art. 20, d.P.R. 6 giugno 2001, n. 380 e s.m.i. - art.7 d.P.R. 7 settembre 2010, n. 160

COSTRUZIONE DI DATA CENTER SITO NEL COMUNE DI NOVIGLIO Frazione Santa Corinna

(in conformità al Piano Attuativo adottato con delibera del 14/12/2021)

Categoria: BUILDING PERMIT - BP1

Titolo elaborato

Relazione geologica e idrogeologica (Geological and hidrogeological report)

Elaborato n°	SCALA
B11	1:_____
Nome file: B11-BP1-Geol_Rep	Codice commessa: P10424
Controllato: R.P.	Approvato: R.P.

Emissione DATA	Vers.	Dis.	VERSIONE
13/12/2022	00		EMISSIONE

NOVIGLIO data Centers MXPI
Noviglio

Relazione geologica e idrogeologica
Geological and hydrogeological report

Revision N°	Revision Date	Issue Description	Dra.	Ver.App.
00	13/12/2022	First emission	RP	

Summary

1 Section A: Abstract 4
2 Section B: Oggetto 7
3 Section C: Documenti di riferimento 9
3.1 Normative 9
3.2 Bibliografia geologica e Banche dati 9
4 Section D: Indagini geognostiche 10
4.1 Campagna 2020 10
4.2 Campagna 2022 10
5 Section E: Fattibilità geologica e regime vincolistico 13
5.1 Vincoli geologici 13
5.2 Pericolosità sismica locale 13
5.2.1 Primo livello di approfondimento 14
5.2.2 Approfondimenti sismici di secondo e terzo livello 15
5.3 Fattibilità geologica 15
6 Section F: Piano di Assetto Idrogeologico - PAI 18
7 Section G: Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni - PGRA 20
8 Section H: Assetto geologico, geomorfologico ed idrogeologico 22
8.1 Geologia e geomorfologia 22
8.2 Unità idrogeologiche di sottosuolo 28
8.3 Caratteri piezometrici locali 29
9 Section I: Elementi di sismica generale 33
9.1 Sismicità storica 33
9.2 Sismicità recente 37
9.3 Contesto geodinamico e sorgenti sismogenetiche 38
9.4 Faglie capaci 42
9.5 Classificazione sismica 44
9.5.1 Riferimenti normativi nazionali 44
9.5.2 Riferimenti normativi regionali 47
10 Section L: Risultati delle indagini 49
11 Section M: Approfondimenti sismici di II e III livello 58
11.1 Analisi di risposta sismica locale di II livello 58
11.1.1 Determinazione della categoria sismica di sottosuolo 58
11.1.2 Individuazione della scheda di valutazione semplificata 60
11.1.3 Calcolo del periodo proprio di sito 62
11.1.4 Calcolo del fattore di amplificazione locale 63
11.1.5 Confronto con i valori di soglia comunale 66
11.2 Analisi di suscettività alla liquefazione – approfondimento di III livello 66
11.2.1 Generalità 66
11.2.2 Primo grado di approfondimento 67

12 Section N: Giudizio di fattibilità geologica e aspetti progettuali 69

1 Section A: Abstract

This geological and hydrogeological report highlights the relationships between the project site and the geological, geomorphological, hydrogeological and seismic framework of the area. The aspects related to the constraint regime, the geological feasibility and the flood hazard of the project site are also analyzed in relation to the existing studies at municipal and regional level.

National, regional and municipal reference rules are listed in **Section 3.1**, while reference databases and bibliographic studies are listed in **Section 3.2**.

The project site is not subject to geological constraints as shown in detail in **section 5.1** and, according to the currente PGT (*Piano di Governo del Territorio*) of Noviglio Municipality is included in **geological feasibility class 3.1 – *feasibility with consistent limitations*** - due to limitations related to high groundwater level, very close to existing ground level as detailed in **section 5.3**.

The project site is also included in **PSL** (local seismic hazard) **zone Z2**, in relation to the presence of saturated fine grained granular soils, potentially susceptible to liquefaction during seismic events, and **in PSL zone Z4a,** due to the possible presence of seismic impedance contrasts capable of generating local amplifications of the seismic signal, for which regional rules prescribe the execution of second and third level sesmic analysis as detailed in **Section 5.2**.

As detailed in **section 6** and in **section 7**, referring to hazard maps produced by Po River Basin Authority as part of **PAI** (*Piano di Assetto Idrogeologico del Bacino del Po*) and by Regione Lombardia as part of the **PGRA** (*Piano di Gestione del Rischio Alluvioni*) wich provides hazard maps based on hydrological studies carried out at hidrografic basin level, **the project site is not exposed to flood hazards**. It should also be noted that the current design approach involves a generalized embankment of the area which makes flood hazard even more irrelevant.

The geological and geomorphological framework of the project site is described in detail in **section 8.1**; the project area is located in the in the medium low lombard plain and as regards to the geomorphological structure is basically flat without evidence of of geomorphological dynamics. Soils are mainly granular (prevailing sands), expression of a braided sedimentation environment referable to extensive fluvioglacial and fluvial plains of quaternary age.

With reference to the official CARG cartography of surface deposits (data source: Lombardy Region - CARG Project - Sheet 118 Milan) the soils outcropping in the intervention area belongs to the *Ronchetto delle Rane Subsyntema*, included in the *Cantù Sintema* in turn belonging to the *Lakes Supersyntema*, and are chronologically referable to the *Upper Pleistocene*. The unit consists of low-energy fluvioglacial deposits, mainly characterized by sands and silty sands from massive to laminated, with local levels of gravelly sands and fine gravels; the alteration profile is poorly evolved with soils with different degrees of evolution, constituting the so-called "*plain fundamental level* ".

Po Valley as a whole represents the morphological expression of the surface of a sedimentary basin of tertiary age located between the alpine structures (with southern vergence) and the Apennine structures (with northern vergence); the tectonic history has determined, together with the climatic variations occurred over time, the depositional structure. The Plio÷pleistocene sedimentary succession of the Po Basin has an overall regressive character: at the base there are deep sea turbiditic deposits, covered by a sedimentary prism gradating both axially, as it is linked to the action of the paleo Po, and transversely, originating from the deposits of the Alpine and Apennine systems. Filling of the sea basin and transition to continental sedimentation is the result of paroxysmal tectonic÷sedimental events, separated over time by periods of strong bacinal subsidence and reduced activity of the compressive structures. In Lombard plain subsoil there are two main surfaces of discontinuity, defined on a regional scale, wich separate three stratigraphic units called, from bottom to top, *Supersintema Padano*, *Supersintema Lombardo Inferiore* and *Supersintema Lombardo Superiore*, on the whole referable to the *Calabrian÷Holocene* chronological interval.

At the project site, the base of the *Lombardo Superiore Supersyntema* is located about 20 m above sea level, with a total thickness of about 80 m, and consists essentially of *sand* and *silty-sand* sequences.
With regard to the hydrogeological structure, as detailed in **section 8.2**, at the project site four aquifer groups are identified, called from bottom to top *Aquifer Group D*, *Aquifer Group C*, *Aquifer Group B* and *Aquifer Group A.* At the project site, the *Aquifer Group A*, stratigraphically equivalent to *Supersintema Lombardo Superiore*, has a thickness of about 80 m.

As detailed in **section 8.3** the morphology of the piezometric surface of the upper aquifer (contained in the Aquifer Group A) at the project site plain shows a very weakly divergent radial aquifer, with components of the groundwater flow oriented NW-SE and average hydraulic gradient around 1 ‰.

The project groundwater level, defined on the basis of the analysis of piezometric oscillations extended over a period of about 40 years, as detailed in **section 8.3, is set at an altitude of +97.9 m a.s.l.**; since current design approach involves an early excavation at 98.30 m a.s.l. for topsoil asportation and regularization of the area, and the consequent realization of a structural embankment at the final elevation of +100.9 m a.s.l., **no interactions with groundwater are expected neither during construction phase nor during bulding lifecycle**.

As detailed in **sections 9.1**, **9.2** and **9.3** the seismic activity felt at project site, generally of low-medium intensity, is linked to seismogenetic zones 907 and 911 of ZS9 Simogenetic Zonation, and to composite symogenetic sources ITCS018, ITCS044 and ITCS115 roughly equidistant and located at distances between 22 and 26 km from project site.

This Composite Source ITCS018 straddles the region from to the southwest of the city of Pavia (to the north) and Northern Apennines foothills between the Emilia and Piemonte regions. It belongs to the Northern Apennines outer thrust front. This front is a NW-verging fault system at the north-western tip of the Northern Apennines chain, well into the Po Plain. It marks the northerly termination of damaging seismogenesis in the Apennines. Historical and instrumental catalogues show a lack of significant seismicity in this region, with the notable exception of the 9 October 1928 (Mw 5.7) earthquake that hit the Valle dello Staffora area, to the southwestern border of the Source.
This Composite Source ITCS044 straddles the region from the cities of Pavia (to the west) to Cremona (to the east), between the Ticino and Adda valleys, and belongs to the Northern Apennines outer thrust front. This front is a N-to NE-verging fault system at the north-western tip of the Northern Apennines chain, well into the Po Plain. It marks the northerly termination of damaging seismogenesis in the Apennines. Historical and instrumental catalogues show a sparse intermediate (4.5 < Mw < 5.0) seismicity in this region, with the exception of the 28 July 1276 (Mw 5.1) earthquake and the 15 May 1951 (Mw 5.2) event that hit the Lodigiano area.
This two Sources represent the hypothesized active arc where the Southern Alpine thrust and the Apennines come closer and may account for the intermediate seismicity of the region and its seismogenic potential.

This Composite Source ITCS115 belongs to the Southern Alps most external, S-verging thrust front buried in the Lombard plain and hosts the individual seismogenic source of the 1802 Valle dell'Oglio earthquake. Current earthquake catalogues show a sparse distribution of minor seismicity in this region, but for one key earthquake that has occurred on 12 May 1802 (Mw 5.9) in the Oglio valley.

As detailed in **section 9.4 no active and capale faults are identified within project site**.

As regard seismc classification **project site belongs to Zona Sismica 3** (see **Section 9.5** for details).

Second ad third level seismic analysis detailed in **Section 11,** conducted on the basis of site-specific sesimc surveys, have made it possible to attribute foundation soils to **seismic category C** and to verify the **absence of exceeding of municipal acceleration threshold values both for structures with a period between 0.1 and 0.5 s and for structures with a period between 0.5 and 1.5 s**. The seismic analyses carried out have made it possible to verify that **project site could be considered stable against liquefaction phenomena for a return time of 712 years** (SLV for Type 2 constructions of Use Class III as defined by National Building code - DM 17/01/18) and it is therefore not necessary to proceed with further analysis.

With regard to the geotechnical aspects, geotechnical investigations carried out have shown the presence of a geotechnical context characterized by sandy and silty-sandy soils with low to medium relative density up to a depth of 4÷6 m b.g.l., subsequently increasing in depth; in this context, the use of piled foundations or slabs foundations with piles having the function of controlling settlemennts is considered appropriate. In relation to the lithostratigraphic and hydrogeoloical context, the use of CFA or FDP piles is considered adequate.

2 Section B: Oggetto

Il presente documento costituisce la "*Relazione Geologica ed idrogeologica*" redatta nell'ambito del progetto di realizzazione di un nuovo Data Center localizzato in un'area di estensione di circa 220'000 m^2 ubicata a sud del territorio comunale di Noviglio, al confine con il comune di Binasco (*Figura 1* – linea tratteggiata rossa).

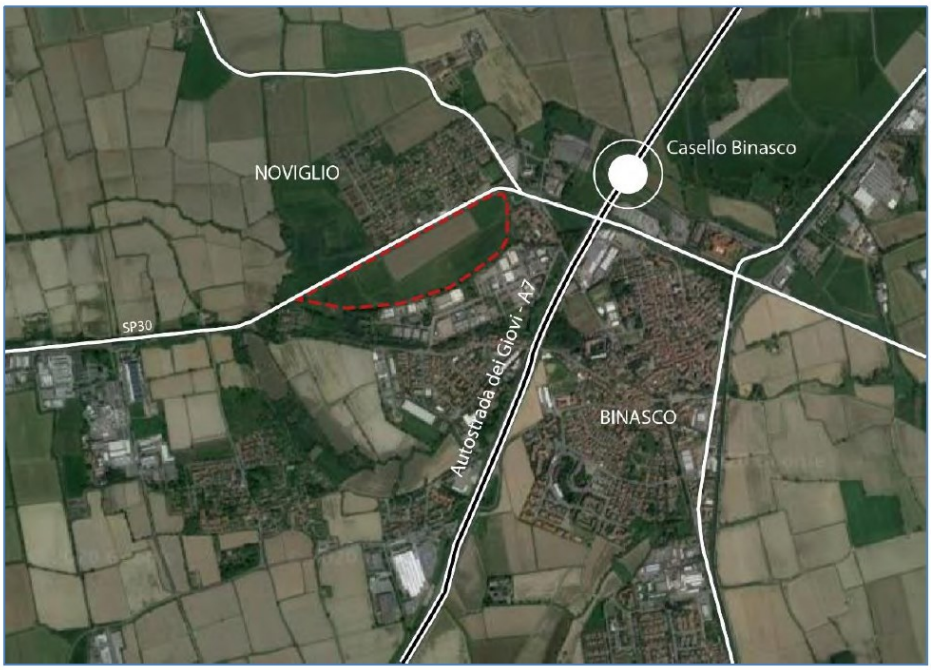


Figura 1 – localizzazione dell'area di progetto

L'area oggetto di intervento si presenta pianeggiante ed è attualmente coltivata a risaia ed erba medica (*Figura 2*).

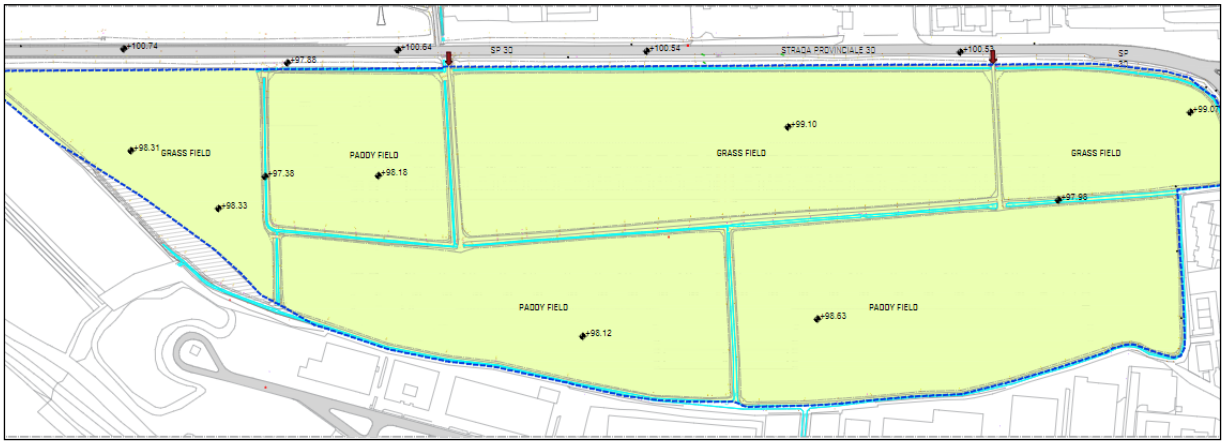


Figura 2 – Stato dei luoghi

Il layout generale di progetto è mostrato nella seguente immagine (*Figura 3*).

Figura 3 – Layout di progetto

Nell'ambito degli interventi previsti in progetto è compresa anche la realizzazione di una nuova rotatoria sulla S.P. 30 di cui di seguito si mostra un dettaglio (*Figura 4*).

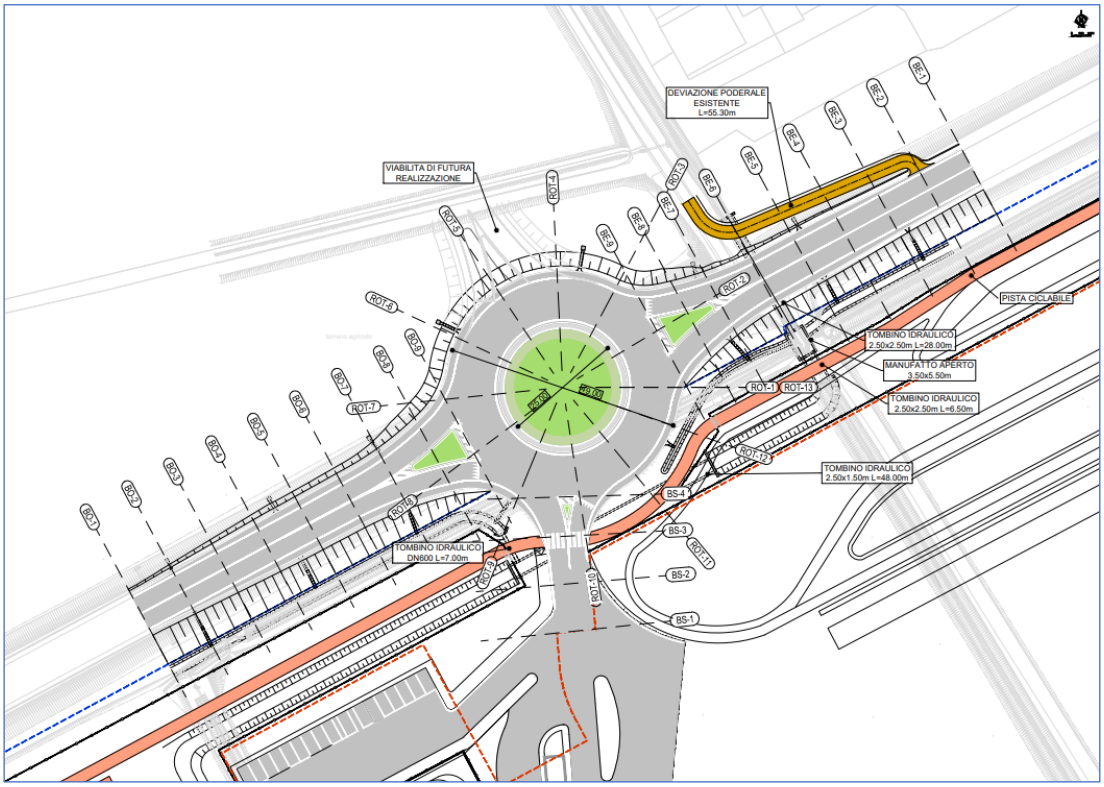


Figura 4 – Rotatoria S.P. 30

3 Section C: Documenti di riferimento

3.1 Normative

[1]. ANAS: Capitolato Speciale d'Appalto Norme Tecniche per l'Esecuzione del Contratto Servizi per Ingegneria e Architettura. Revisione ottobre 2018 Capitolo 2 "Capitolato d'oneri per la redazione del Progetto Definitivo".
[2]. D.M. Infrastrutture e trasporti 30.04.20 - Approvazione delle linee guida per l'individuazione, dal punto di vista strutturale, degli interventi di cui all'articolo 94 -bis, comma 1, del decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, nonché delle varianti di carattere non sostanziale per le quali non occorre il preavviso di cui all'articolo 93.
[3]. Circolare 21.01.19 n° 7 Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17.01.18.
[4]. D.M. Infrastrutture e trasporti 17.01.18 - Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni.
[5]. Circolare 02.02.09 n°617 Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14.01.08.
[6]. D.M. Infrastrutture e trasporti 14.01.08 - Norme tecniche per le costruzioni.
[7]. D.G.R. 15.02.2021 - n° XI/4317 - Indirizzi per l'uniforme applicazione del D.M. Infrastrutture e trasporti 30.04.20 "Approvazione delle linee guida per l'individuazione, dal punto di vista strutturale, degli interventi di cui all'articolo 94 -bis, comma 1, del decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, nonché delle varianti di carattere non sostanziale per le quali non occorre il preavviso di cui all'articolo 93
[8]. Circolare Regione Lombardia 28.01.20 n° 1 - Profili applicativi in materia di opere o costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche ci cui alla l.r. 33/2015 a seguito dell'entrata in vigore della l. 156/2019, della l.r. 21/2019 e della d.g.r. XI/2584/2019
[9]. D.d.u.o. 22.05.19 n° 7237 - Aggiornamento del D.d.u.o. 21.11.13 n° 19904
[10]. D.d.u.o. 28.11.2018 n. 17589 - Aggiornamento della modulistica approvata dalla D.G.R. 30 marzo 2016 n. X/5001 "Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica"
[11]. D.G.R. 30.03.2016 - n° X/5001 - Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materi sismica.
[12]. L.R. 12.10.2015 n° 33 - Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche.
[13]. D.G.R. 11.07.2014 - n° X/2129 - Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia.
[14]. D.d.u.o. 21.11.13 n° 19904 - Approvazione elenco delle tipologie degli edifici ed opere infrastrutturali di interesse strategico e di quelli che possono assumere rilevanza per le conseguenze di un eventuale collasso in attuazione della D.G.R. n° 19964 del 7.11.03
[15]. D.G.R. 30.11.2011 n° IX/2616 - Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio.

3.2 Bibliografia geologica e Banche dati

[16]. Geologia degli acquiferi padani della Regione Lombardia – Regione Lombardia – Eni - 2002
[17]. Cartografia Geologica – Progetto CARG – Dati e informazioni scaricati dal sito della Regione Lombardia: https://www.geoportale.regione.lombardia.it – Foglio 118 (Milano), con relative Note Illustrative
[18]. Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - Dati e informazioni scaricati dal sito della Regione Lombardia: https://www.geoportale.regione.lombardia.it
[19]. Piano di Gestione Rischio Alluvioni nel bacino del fiume Po (PGRA) – Dati e informazioni scaricati dal sito della Regione Lombardia: https://www.geoportale.regione.lombardia.it
[20]. Studio Geologico di supporto al Piano di Governo del Territorio del comune di Noviglio

4 Section D: Indagini geognostiche

Nell'ambito dello sviluppo progettuale sul sito di progetto sono state condotte due successive campagne di indagini geognostiche come dettagliato nel seguito.

4.1 Campagna 2020

La campagna 2020 è stata eseguita nell'ambito di una *due-diligence* tecnico-amministrativa. I dettagli dei risultati dell'indagine, l'ubicazione delle prove e le caratteristiche dei macchinari utilizzati sono documentati nello specifico rapporto al quale si rimanda per approfondimenti.

L'indagine è consistita in:

- N°5 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti sino alla profondità di 15m da p.c., con esecuzione di prove SPT ogni 1.5m di avanzamento e prelievo di n.5 campioni di intervalli significativi sottoposti ad analisi geotecnica.
- N°2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti sino alla profondità di 20m da p.c. ed attrezzati con piezometro a tubo aperto per la verifica della soggiacenza della falda.
- N°10 prove penetrometriche dinamiche continue con attrezzatura DPSH.
- N°1 stendimento sismico MASW per la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio.

Nella successiva *Figura 5* si illustra l'ubicazione delle indagini condotte.

Figura 5 – Ubicazione indagini 2020

4.2 Campagna 2022

Nel corso della campagna di indagine geognostica integrativa 2022 sono state eseguite le seguenti prove.

- Esecuzione di 4 sondaggi geognostici (S1-PZ, S2-DH, S3 e S4) a carotaggio continuo per un totale di 120m di perforazione spinti sino alla profondità massima di 40m da p.c. locale attuale.
- Esecuzione di 78 prove SPT ogni 1.5m di avanzamento.
- Prelievo di 33 campioni rimaneggiati dalle cassette catalogatrici di terreno sottoposti ad analisi di laboratorio per la caratterizzazione granulometrica.

- Installazione nel sondaggio S1 di un piezometro da 2” a tubo aperto di lunghezza pari a 15m con tratto fenestrato a partire da 5 a 15m di profondità.
- Esecuzione di prova down-hole a 40m nel sondaggio S2.
- Esecuzione di 10 prove penetrometriche statiche a punta meccanica (CPT) ed una prova a punta elettrica (CPTE) spinte fino a raggiungere condizioni di “*rifiuto*” con un massimo di 20.05m e per un totale di 195m di prova.
- Esecuzione di 10 prove HVSR per la misura sperimentale della frequenza fondamentale di sito e dei principali contrasti di impedenza sismica.
- Esecuzione di 20 pozzetti esplorativi superficiali con escavatore volti a definire gli spessori del coltivo e la stratigrafia dei livelli più superficiali.
- Esecuzione di 20 prove di carico su piastra da 30cm sulla quota di fondo dei pozzetti esplorativi di cui al punto precedente. Per la prova si è fatto riferimento a quanto indicato in CNR (B.U. 146) per “*strati di fondazione*” (carico massimo 350kPa con ciclo di scarico/ricarico a 250kPa).
- Esecuzione di 3 prove infiltrometriche con doppio anello.
- Esecuzione di 2 prove di pompaggio “*a gradini*” previa installazione dei seguenti approntamenti (per ogni prova):
  - N°1 pozzo di aggottamento (300 mm) di lunghezza pari a 15m per alloggio della pompa.
  - N°1 piezometro di controllo a tubo aperto (2”) di lunghezza pari a 10m per la misura degli abbassamenti.
- Esecuzione di 33 granulometrie e 15 aerometrie con determinazione dei limiti di Atterberg.
- Esecuzione di indagini chimiche su campioni di suolo e di acqua.

L’ubicazione delle indagini del 2020 e della campagna integrativa 2022 (in corso) è illustrata nella seguente *Figura 6*.

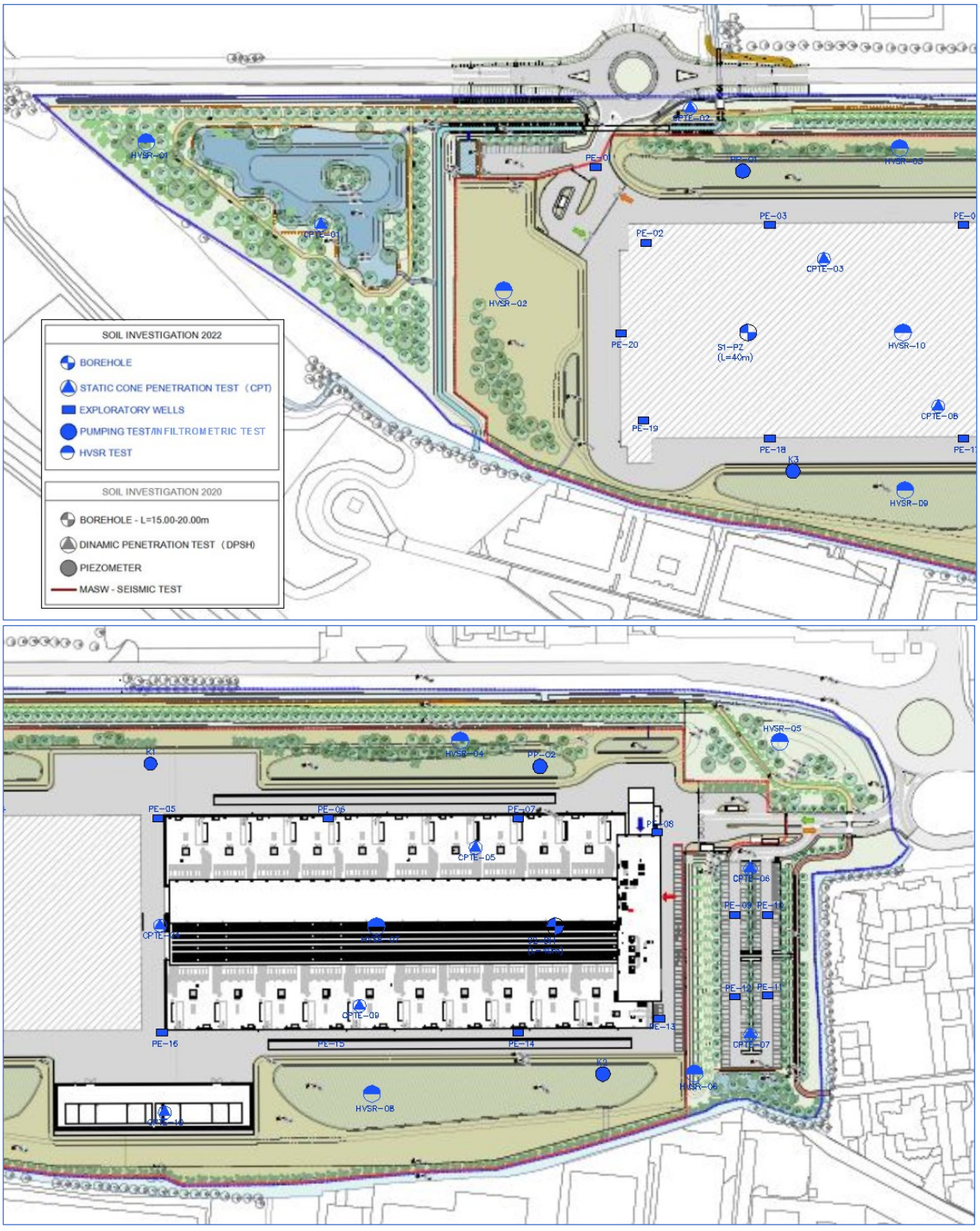


Figura 6 – Ubicazione indagini (campagna 2020 + 2022)

5 Section E: Fattibilità geologica e regime vincolistico

Di seguito vengono esaminate le relazioni dell'area di intervento con gli aspetti relativi ai vincoli idrogeologici, alla pericolosità sismica locale ed alla fattibilità geologica, desunti dalla componente geologica di supporto al vigente PGT di Noviglio.

5.1 Vincoli geologici

L'ambito di intervento, evidenziato con perimetro rosso, come osservabile nell'immagine seguente (cfr. *Figura 7*) desunta dalla carta dei vincoli del vigente PGT del comune di Noviglio non risulta soggetta ad alcun vincolo di natura geologica.

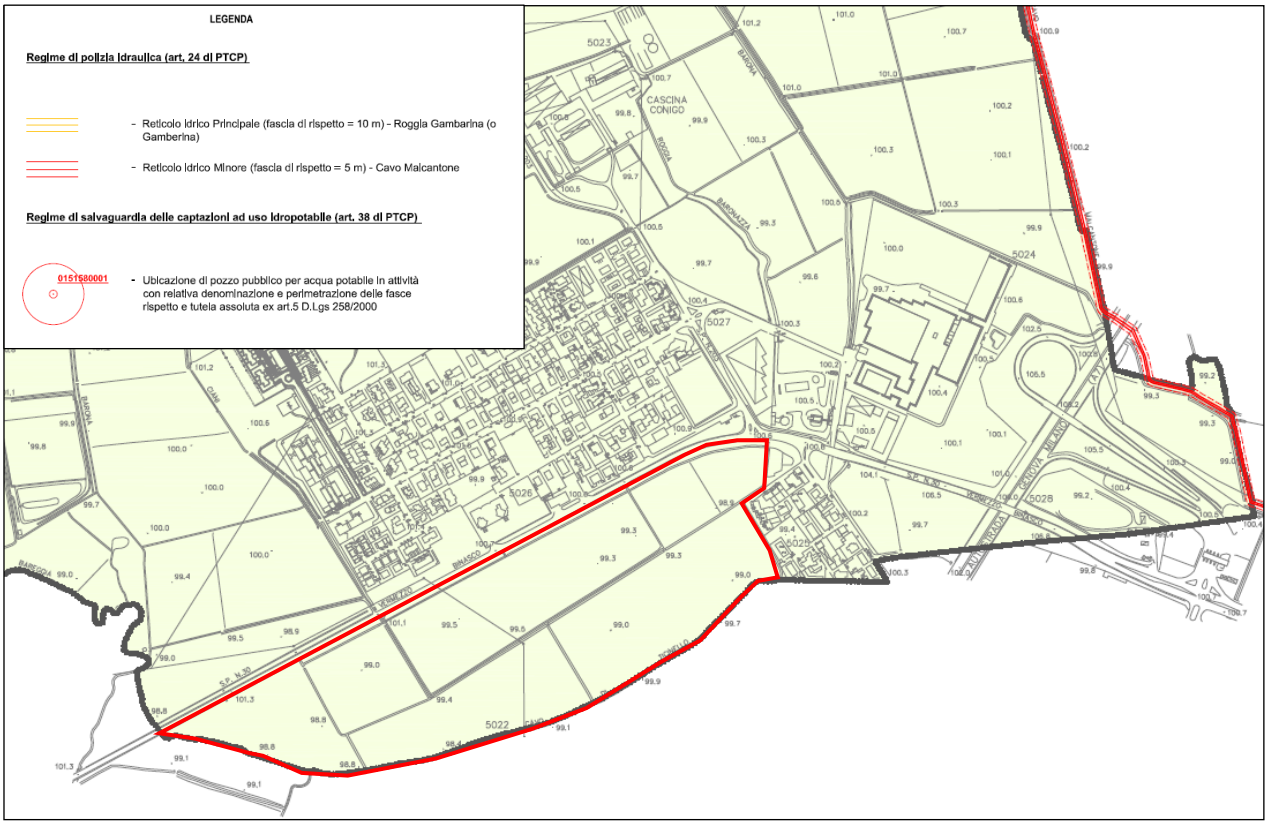

LEGENDA
Regime di polizia idraulica (art. 24 di PTCP)
- Reticolo Idrico Principale (fascia di rispetto = 10 m) - Roggia Gambarina (o Gamberina)
- Reticolo Idrico Minore (fascia di rispetto = 5 m) - Cavo Malcantone
Regime di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile (art. 38 di PTCP)
0151580001
- Ubicazione di pozzo pubblico per acqua potabile in attività con relativa denominazione e perimetrazione delle fasce rispetto e tutela assoluta ex art.5 D.Lgs 258/2000
CASCINA CONIGO
5022
5023
5024
5025
5026
5027
5028

Figura 7 – Carta dei vincoli (Tav. 6.0) - PGT di Noviglio

5.2 Pericolosità sismica locale

Secondo la nuova classificazione sismica dei comuni della Regione Lombardia, di cui alla d.g.r. 11 luglio 2014 n. X/2129 "*Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia*", il territorio comunale di Noviglio risulta classificato in **Zona Sismica 3** con valore di accelerazione massima A_{gmax} = 0. 050571.
Per la valutazione degli effetti di amplificazione sismica sito specifica, la procedura di cui al punto 1.4.4 dell'Allegato B alla d.g.r. 30 novembre 2011 n. IX/2616 "*Sintesi delle procedure*", prevede l'applicazione di tre livelli di approfondimento sismico con grado di dettaglio crescente in funzione della zona sismica di appartenenza, come illustrato nella tabella seguente.

	Livelli di approfondimento e fasi di applicazione		
	1^ livello fase pianificatoria	2^ livello fase pianificatoria	3^ livello fase progettuale
Zona sismica 2-3	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	- Nelle aree indagate con il 2^ livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1e Z2.
Zona sismica 4	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03)	- Nelle aree indagate con il 2^ livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1 e Z2 per edifici strategici e rilevanti.

PSL = Pericolosità Sismica Locale

L'approfondimento sismico di secondo livello è obbligatorio, per i Comuni ricadenti nelle zone sismiche 2 e 3, negli scenari PSL, individuati attraverso il 1° livello, suscettibili di amplificazioni sismiche morfologiche e litologiche (zone Z3 e Z4 della Tabella 1 dell'Allegato 5) interferenti con l'urbanizzato e/o con le aree di espansione urbanistica; per i Comuni ricadenti in sona sismica 4 l'approfondimento è previsto solo per edifici ed opere infrastrutturali strategiche e rilevanti.
Pertanto, poiché il comune di Noviglio è classificato in zona sismica 3, è necessario procedere alla valutazione degli effetti di amplificazione litologica e delle conseguenti azioni sismiche di progetto a mezzo di approfondimenti sismici di 2° livello per tutte le tipologie di opere ricadenti all'interni di zone di amplificazione sismica locale PSL Z3 s Z4. Per le aree ricadenti in zone PSL Z1 e Z2 è richiesto specifico approfondimento sismico di 3° livello.

5.2.1 Primo livello di approfondimento

La carta della pericolosità sismica locale - *I livello di approfondimento* - allegata alla componente geologica del vigente PGT di Noviglio evidenzia che l'area di intervento ricade nel seguente scenario di pericolosità sismica (cfr. *Figura 8*):

- **Z2**, con terreni di fondazione saturi, zone con depositi granulari fini saturi.

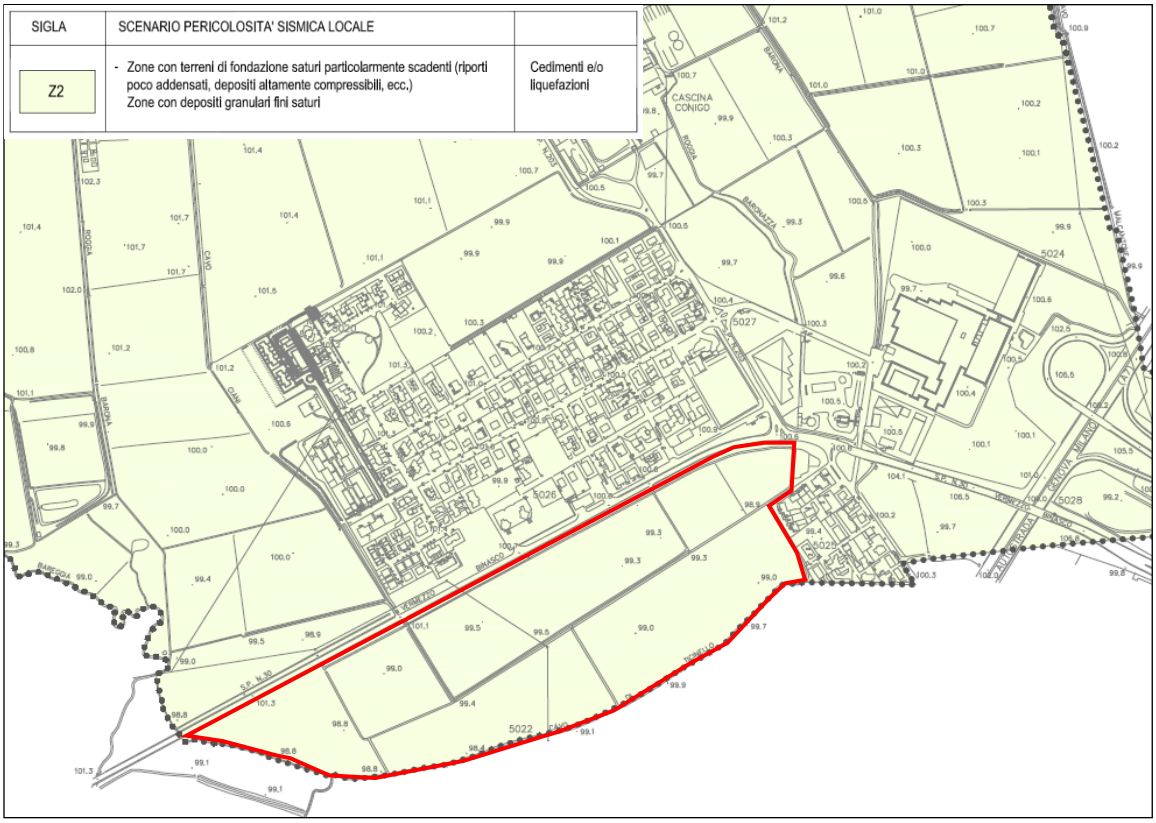


Figura 8 – Carta della pericolosità sismica locale (Tav. 5.0) - PGT di Noviglio

Si evidenzia che ai sensi della vigente DGR IX/2616/2011 tutti gli ambiti di pianura vengono ascritti allo scenario di pericolosità sismica locale Z4a (cfr. Tabella 1) per il quale si rende obbligatoria la valutazione degli effetti di amplificazione litologica e delle conseguenti azioni sismiche di progetto a mezzo di approfondimenti sismici di 2° livello, condotti secondo i criteri definiti dall'Allegato 5 della suddetta D.G.R..

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2a	Zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.)	Cedimenti
Z2b	Zone con depositi granulari fini saturi	Liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

Tabella 1 – Scenari di pericolosità sismica locali

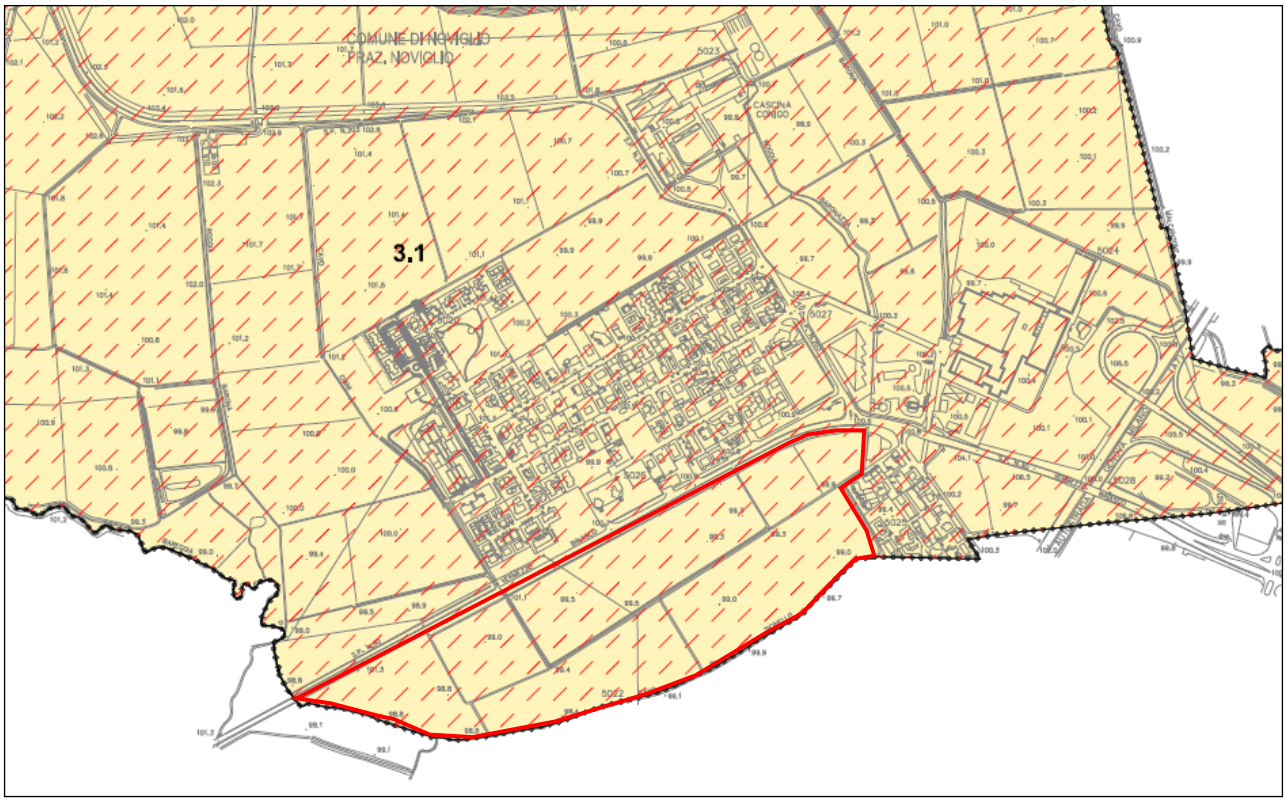
5.2.2 Approfondimenti sismici di secondo e terzo livello

Il comune di Noviglio non è dotato di studio di approfondimento sismico di II livello; gli approfondimenti di analisi richiesti dalla vigente normativa saranno condotti in questa sede sulla base di indagini sismiche sitospecifiche come illustrato al paragrafo 11 del presente documento.

5.3 Fattibilità geologica

Nello studio geologico di supporto al vigente Piano di Governo del Territorio del Comune di Noviglio, l'ambito di intervento è compreso all'interno della seguente classe di fattibilità (cfr. *Figura 9*):

- **Classe di fattibilità geologica 3.1 - Fattibilità con consistenti limitazioni**;



3.1	Classe 3	**Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico.** Presenza di una falda freatica a bassa soggiacenza e molto vulnerabile **Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche** Terreni caratterizzati da possibilità d'innesco di cedimenti differenziali eccessivi per la staticità di strutture con fondazioni di tipo diretto e possibilità d'interferenze dirette (allagamenti) o indirette (innalzamento della frangia capillare) con le strutture.
3.2	Classe 3	**Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico** Presenza di una falda freatica a bassa soggiacenza e molto vulnerabile Emersione falda in ambito di cava cessata non ricolmata (Catasto Regionale Cave codice R309/g/MI **Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche** Terreni caratterizzati da possibilità d'innesco di cedimenti differenziali eccessivi per la staticità di strutture con fondazioni di tipo diretto e possibilità d'interferenze dirette (allagamenti) o indirette (innalzamento della frangia capillare) con le strutture
3.3	Classe 3	**Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico** Presenza di una falda freatica a bassa soggiacenza e molto vulnerabile **Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche e potenziali rischi ambientali** Terreni caratterizzati da possibilità d'innesco di cedimenti differenziali eccessivi per la staticità di strutture con fondazioni di tipo diretto e possibilità d'interferenze dirette (allagamenti) o indirette (innalzamento della frangia capillare) con le strutture. Aree con riporti di materiale, aree colmate (ambiti di cava cessata ricolmata)

Figura 9 – Carta della fattibilità geologica (Tav. 8.0) - PGT di Noviglio

Di seguito si riporta un estratto delle Norme Geologiche di PGT relative alla classe 3.1

Prescrizioni

Interventi edilizi e trasformazioni che implicano la realizzazione di opere o strutture

Per gli interventi che prevedano una o più delle seguenti opere:

- *opere di fondazione;*
- *opere di sostegno;*
- *opere in sotterraneo;*
- *opere e manufatti di materiali sciolti naturali;*
- *fronti di scavo;*
- *miglioramento e rinforzo dei terreni ;*
- *consolidamento dei terreni interessanti opere esistenti;*
- *la valutazione della sicurezza dei pendii*

- *fattibilità di opere che hanno riflessi su grandi aree;*

il proponente, in sede di presentazione dei documenti per l'ottenimento del titolo abilitativo di competenza comunale (o equivalente titolo), deve produrre i seguenti elaborati progettuali, redatti in conformità con le vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni:

- *Relazione Geologica*
- *Relazione Geotecnica*

Tali elaborati dovranno essere sviluppati tenendo conto dell'azione sismica.
Le Relazione Geologica e la Relazione Geotecnica:

- *sono dovute anche nel caso di interventi su opere esistenti, che comportano modifiche alle stesse e di interventi che comportano variazioni dei carichi esercitati sul terreno (ad esempio nel caso di sopraelevazioni);*
- *devono essere redatte da professionisti abilitati e commisurate al livello di approfondimento progettuale previsto per l'ottenimento del titolo abilitativo di competenza comunale (ad esempio studio di fattibilità, progetto preliminare, definitivo o esecutivo).*

Nel caso di costruzioni o di interventi di modesta rilevanza, il progettista può basare la progettazione sull'esperienza e sulle conoscenze disponibili, ferma restando la sua piena responsabilità su ipotesi e scelte progettuali. In tal caso, la Relazione Geologica presentata può essere assunta di documentazione, mentre la Relazione Geotecnica può essere elaborata utilizzando dati geologici e geotecnici di documentazione in luogo di indagini e prove in sito.

Indirizzi
Ciclo delle acque

Il vigente PTCP include il territorio comunale di Noviglio nei macrosistemi idrogeologici "Ambito di rigenerazione prevalente della risorsa idrica" e "Ambito degli acquiferi a vulnerabilità molto elevata"; pertanto valgono i seguenti indirizzi di carattere generale:

- *favorire l'immissione delle acque meteoriche sul suolo e nei primi strati del sottosuolo, evitando condizioni di inquinamento o di veicolazione di sostanze inquinanti verso le falde*
- *favorire l'immissione delle acque meteoriche nel reticolo idrico superficiale;*

Nelle eventuali trasformazioni urbanistiche e infrastrutturali è necessario:

- *favorire l'infiltrazione e l'invaso temporaneo diffuso delle precipitazioni meteoriche al fine di non causare condizioni di sovraccarico nella rete di drenaggio, in coerenza anche con le disposizioni del PAI e del PTUA;*
- *valutare le alterazioni al regime delle acque sotterranee e verificare i relativi effetti anche nelle aree limitrofe, eventualmente introducendo adeguati correttivi al progetto di intervento.*

6 Section F: Piano di Assetto Idrogeologico - PAI

Uno stralcio relativo all'area in esame a scala 1:10.000 del vigente *Piano Stralcio per la l'Assetto Idrogeologico del bacino del Po* – **PAI** -, aggiornato a partire dalla versione originale approvata con DPCM 24 maggio 2001 e disponibile alla consultazione sul geoportale della Regione Lombardia, riportato di seguito, evidenzia l'assenza di criticità idrogeologiche ed idrauliche in corrispondenza dell'area di intervento, evidenziata con perimetro rosso.

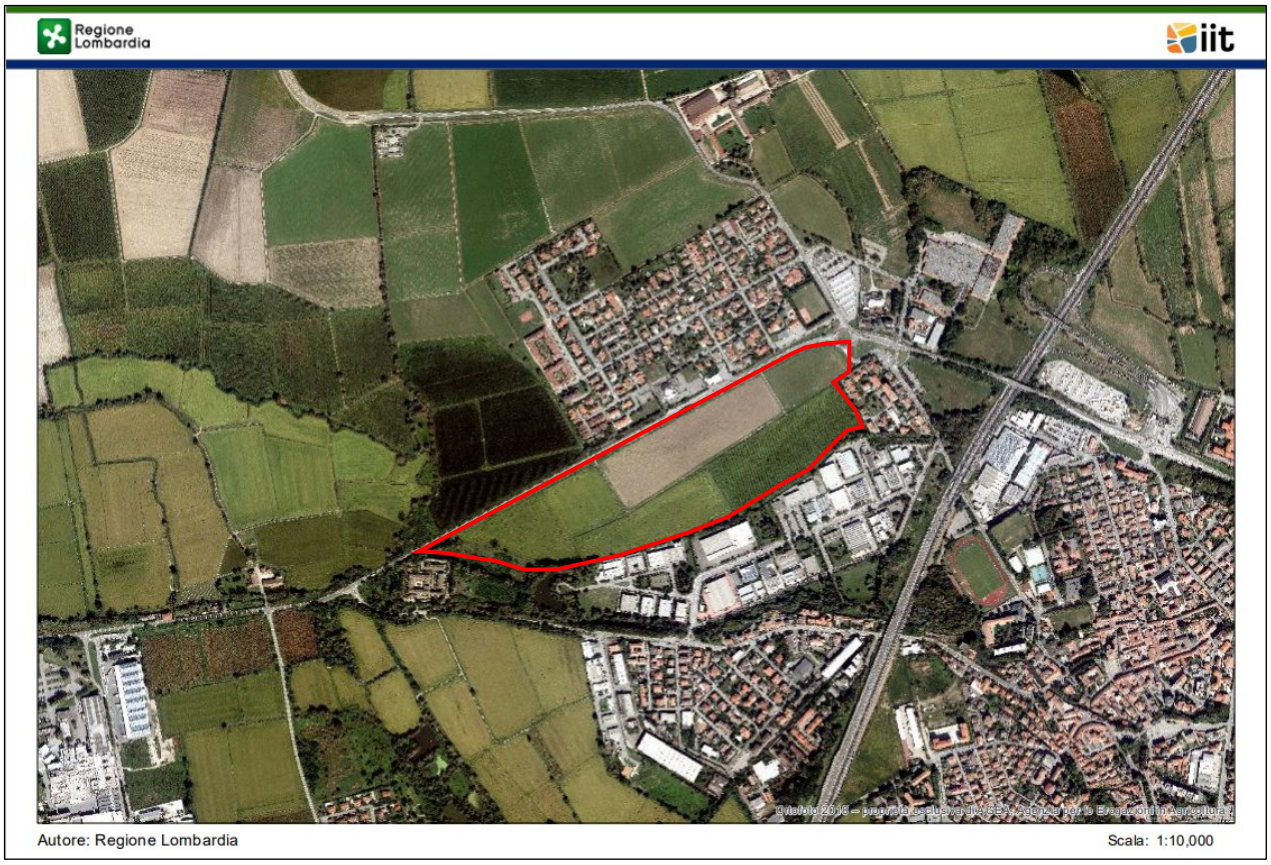


Figura 10 – PAI vigente da Geoportale Regione Lombardia

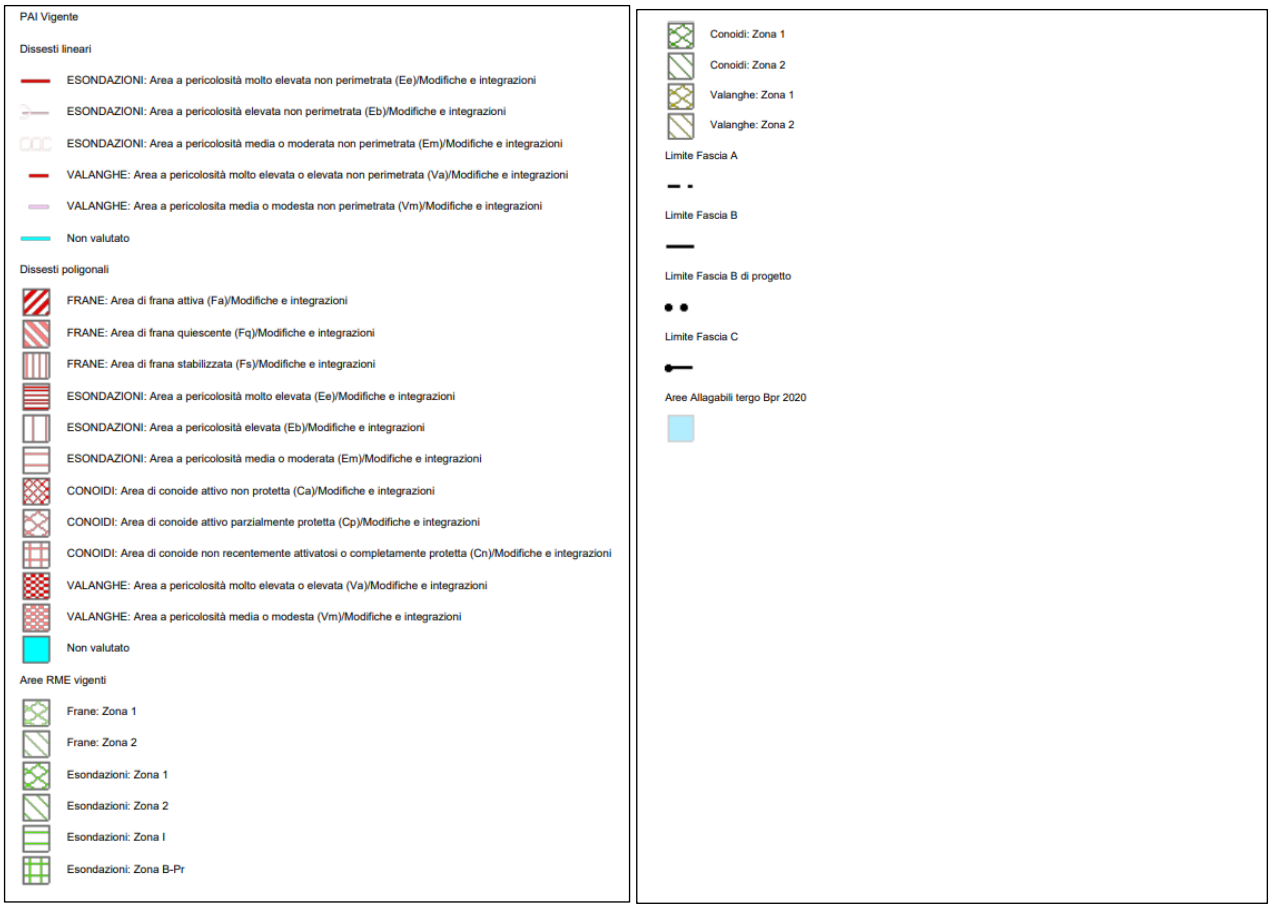

PAI Vigente
Dissesti lineari
ESONDAZIONI: Area a pericolosità molto elevata non perimetrata (Ee)/Modifiche e integrazioni
ESONDAZIONI: Area a pericolosità elevata non perimetrata (Eb)/Modifiche e integrazioni
ESONDAZIONI: Area a pericolosità media o moderata non perimetrata (Em)/Modifiche e integrazioni
VALANGHE: Area a pericolosità molto elevata o elevata non perimetrata (Va)/Modifiche e integrazioni
VALANGHE: Area a pericolosita media o modesta non perimetrata (Vm)/Modifiche e integrazioni
Non valutato
Dissesti poligonali
FRANE: Area di frana attiva (Fa)/Modifiche e integrazioni
FRANE: Area di frana quiescente (Fq)/Modifiche e integrazioni
FRANE: Area di frana stabilizzata (Fs)/Modifiche e integrazioni
ESONDAZIONI: Area a pericolosità molto elevata (Ee)/Modifiche e integrazioni
ESONDAZIONI: Area a pericolosità elevata (Eb)/Modifiche e integrazioni
ESONDAZIONI: Area a pericolosità media o moderata (Em)/Modifiche e integrazioni
CONOIDI: Area di conoide attivo non protetta (Ca)/Modifiche e integrazioni
CONOIDI: Area di conoide attivo parzialmente protetta (Cp)/Modifiche e integrazioni
CONOIDI: Area di conoide non recentemente attivatosi o completamente protetta (Cn)/Modifiche e integrazioni
VALANGHE: Area a pericolosità molto elevata o elevata (Va)/Modifiche e integrazioni
VALANGHE: Area a pericolosità media o modesta (Vm)/Modifiche e integrazioni
Non valutato
Aree RME vigenti
Frane: Zona 1
Frane: Zona 2
Esondazioni: Zona 1
Esondazioni: Zona 2
Esondazioni: Zona I
Esondazioni: Zona B-Pr
Conoidi: Zona 1
Conoidi: Zona 2
Valanghe: Zona 1
Valanghe: Zona 2
Limite Fascia A
Limite Fascia B
Limite Fascia B di progetto
Limite Fascia C
Aree Allagabili tergo Bpr 2020

Figura 11 – PAI vigente da Geoportale Regione Lombardia - Legenda

7 Section G: Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni - PGRA

Il *Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni* (**PGRA**) è stato adottato con deliberazione n.4 nella seduta del 17 dicembre 2015 e approvato con deliberazione n. 2 del 3 marzo 2016 dal *Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po*. Il Piano di Gestione Rischio Alluvioni è lo strumento operativo previsto dal d.lgs. 49/2010, in attuazione alla Direttiva Europea 2007/60/CE, per individuare e programmare le azioni necessarie a ridurre le conseguenze negative delle alluvioni per la salute umana, per il territorio, per i beni, per l'ambiente, per il patrimonio culturale e per le attività economiche e sociali.
Per alluvione si intende qualsiasi evento che provoca un allagamento temporaneo di un territorio non abitualmente coperto dall'acqua, purché direttamente imputabile a cause di tipo meteorologico. Per il Distretto Padano, cioè il territorio interessato dalle alluvioni di tutti i corsi d'acqua che confluiscono nel Po, dalla sorgente fino allo sbocco in mare, è stato predisposto il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Po (PGRA).

Le azioni del PGRA (misure) sono classificate in quattro tipologie, che corrispondono alle quattro fasi di gestione del rischio alluvioni:

- prevenzione (es. vincoli all'uso del suolo)
- protezione (es. realizzazione di opere di difesa strutturale)
- preparazione (es. allerte, gestione dell'emergenza)
- ritorno alla normalità e analisi (es. valutazione e ristoro danni, analisi degli eventi accaduti).

Questa classificazione risponde alla richiesta di organizzare la gestione del rischio alluvioni in modo condiviso a livello nazionale ed europeo.
In particolare il PGRA contiene:

- la mappatura delle aree potenzialmente interessate da alluvioni, classificate in base alla pericolosità (aree allagabili) e al rischio e una diagnosi delle situazioni a maggiore criticità;
- il quadro attuale dell'organizzazione del sistema di protezione civile in materia di rischio alluvioni e una diagnosi delle principali criticità;
- le misure da attuare per ridurre il rischio nelle fasi di prevenzione e protezione e nelle fasi di preparazione, ritorno alla normalità ed analisi.

Nella seguente immagine, riportante uno stralcio riferito all'area di progetto della mappatura di pericolosità "*Direttiva Alluvioni 2007/60/CE - revisione 2022*" desunta dal viewer geografico del Geoportale della Regione Lombardia, si evidenzia l'assenza di criticità idrauliche per l'area di intervento, evidenziata con perimetro rosso.

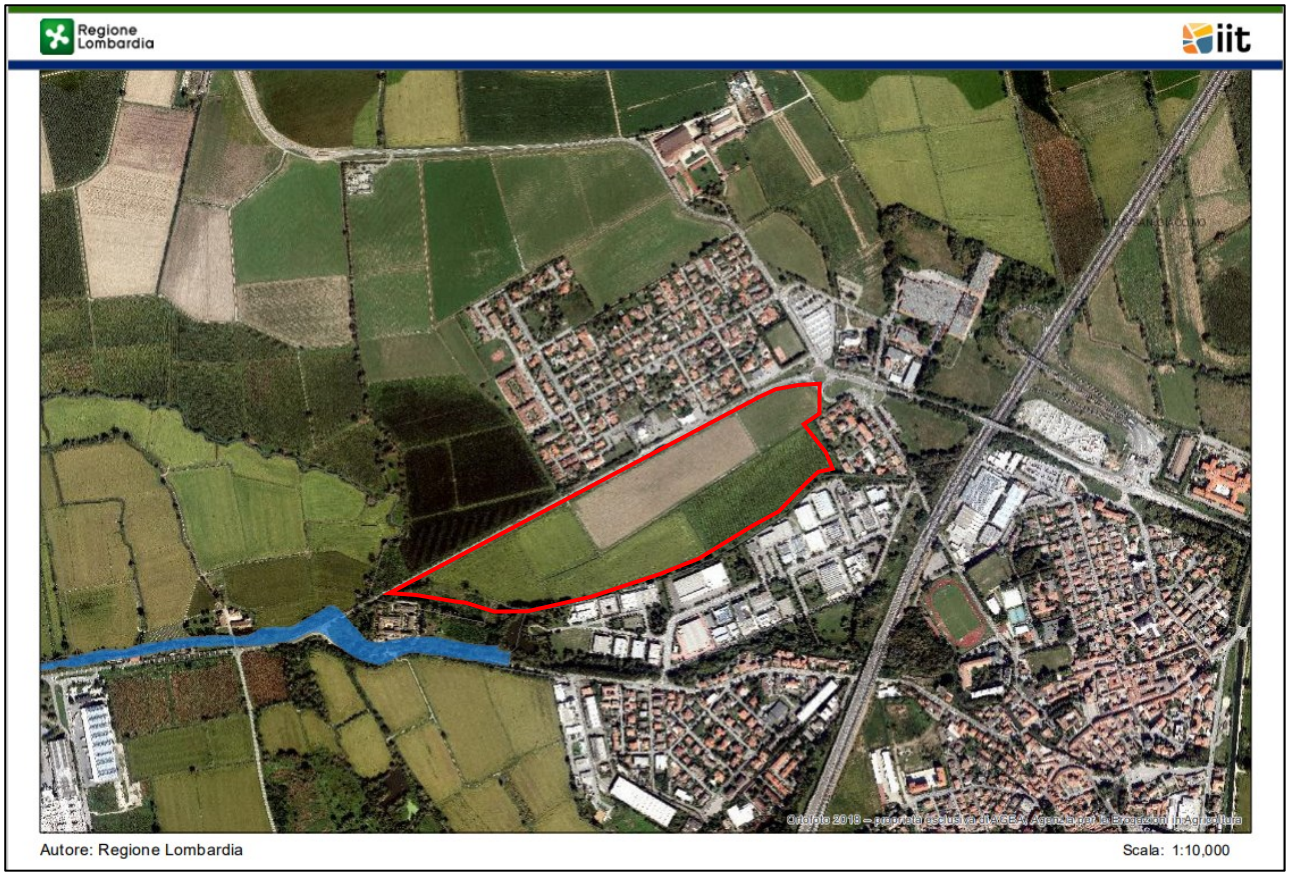

Regione Lombardia
iit
Autore: Regione Lombardia
Scala: 1:10,000
Regione Lombardia
Direttiva Alluvioni 2007/60/CE - Revisione 2022
iit Infrastruttura Informazione Territoriale
Geoportale
Legenda
Comuni
Regione
Pericolosità RP scenario frequente - H
Pericolosità RSCM scenario frequente - H
Pericolosità RSP scenario frequente - H
Pericolosità ACL scenario frequente - H
Pericolosità RP scenario poco frequente - M
Pericolosità RSCM scenario poco frequente - M
Pericolosità RSP scenario poco frequente - M
Pericolosità ACL scenario poco frequente - M
Pericolosità RP scenario raro - L
Pericolosità RSCM scenario raro - L
Pericolosità ACL scenario raro - L

Figura 12 – Stralcio PGRA – Piano di gestione del rischio di alluvioni - Geoportale Regione Lombardia

8 Section H: Assetto geologico, geomorfologico ed idrogeologico

L'inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico del sito di intervento è stato desunto dalla documentazione relativa al Progetto CARG – Carta Geologica d'Italia scala 1:50.000 – ***Foglio 118 Milano***, allo studio sulla Geologia degli acquiferi padani della Regione Lombardia curato da Regione Lombardia ed Eni e dello studio geologico di supporto al PGT del Comune di Noviglio.

8.1 Geologia e geomorfologia

Il sito di progetto, ubicato ad una quota topografica media di circa 99 m s.l.m., si colloca in ambito di bassa pianura, tradizionalmente indicato come livello fondamentale della pianura, e per quanto attiene l'assetto geomorfologico risulta subpianeggiante senza evidenze di fenomeni di dinamica geomorfologica in atto o riattivabili. Il livello fondamentale della pianura costituisce una superficie pianeggiante apparentemente omogenea e priva di significative discontinuità morfologiche con pendenza regionale verso SSE con inclinazioni dell'ordine di 2÷3‰; i depositi sono prevalentemente granulari (sabbie prevalenti), testimoni di un ambiente di sedimentazione di tipo braided riferibile ad estese piane fluvioglaciali e fluviali di età quaternaria.

Il principale elemento della rete idrografica è rappresentato dal corso della *Roggia Ticinello*, che scorre poco a sud dell'ambito di progetto, ad una distanza compresa tra 120 m al limite ovest e 430 m al limite est del sito. L'ambito di progetto è inoltre interessato da una rete di canali artificiali privati utilizzati a scopo irriguo; in particolare è limitato a sud dal *Cavo di Ticinello* ed è attraversato dal *Cavo Ciani* e dalla *Roggia Baronazza* come mostrato nella figura seguente tratta dallo studio di individuazione del reticolo idrico minore del comune di Noviglio.

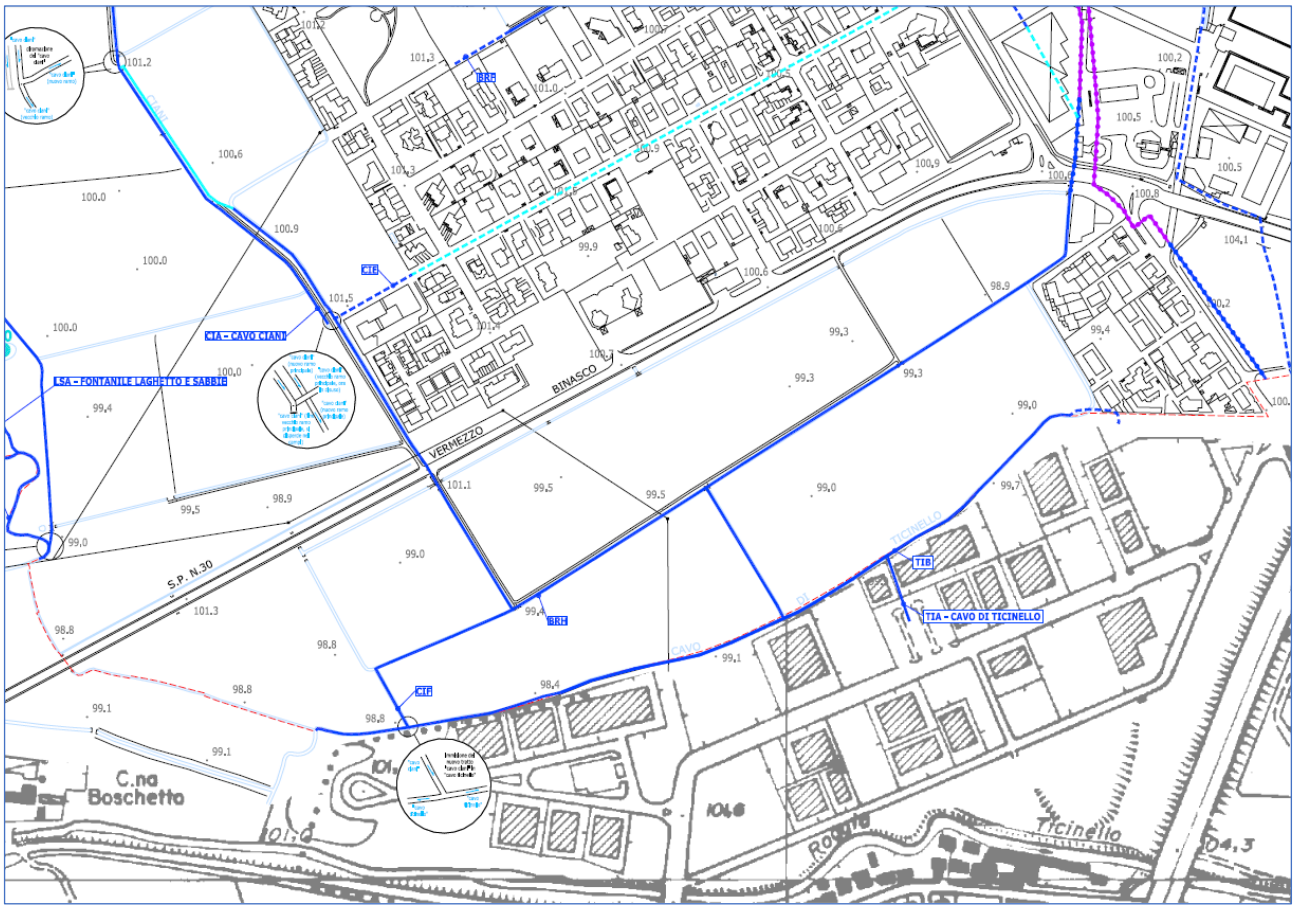


Figura 13 – Stralcio RIM Comune di Novglio Tav. 01F

La Pianura Padana nel suo insieme rappresenta l'espressione morfologica di superficie del Bacino Padano, un bacino sedimentario di età terziaria compreso tra le strutture alpine (a vergenza meridionale) e le strutture

appenniniche (a vergenza settentrionale); la storia tettonica che lo ha interessato ne ha determinato, assieme alle variazioni climatiche succedutesi nel tempo, la struttura deposizionale. La successione sedimentaria plio÷pleistocenica del Bacino Padano ha un carattere complessivamente regressivo: alla base sono presenti depositi torbiditici di mare profondo, ricoperti da un prisma sedimentario progradante sia assialmente, in quanto legato all'azione del paleo Po, che trasversalmente, originato dai depositi dei sistemi alpini ed appenninici. Il riempimento del bacino marino ed il passaggio alla sedimentazione continentale è il risultato di eventi tettono÷sedimentari parossistici, separati nel tempo da periodi di forte subsidenza bacinale e ridotta attività delle strutture compressive. Le successioni di sedimenti di età plio÷quaternaria che costituiscono la pianura lombarda ricoprono in discordanza il substrato più antico, interessato dalla tettonica compressiva protrattasi fino al Miocene superiore lungo il bordo pedemontano e collinare delle Alpi Meridionali lombarde prospiciente la pianura. A partire dal Messiniano cessano quasi completamente i movimenti tettonici legati all'edificio alpino e nel contempo si registra un sensibile spostamento verso NE del fronte dell'Appennino settentrionale. Da questo momento le geometrie deposizionali del bacino Padano sono strettamente legate ai repentini sollevamenti e movimenti in avanti delle falde nordappenniniche e ai lunghi periodi di relativa calma e subsidenza isostatica dei bacini. Possibili riattivazioni tardo÷quaternarie del fronte sudalpino ed evidenze di tettonica quaternaria in alcune zone di pianura sono attualmente oggetto di indagine a scala di bacino.
Secondo i più recenti orientamenti introdotti per l'area in esame con gli studi condotti nell'ambito del rilevamento e della pubblicazione del foglio CARG 118 – Milano, il tradizionale schema stratigrafico di riferimento della pianura lombarda è stato revisionato introducendo nuove unità stratigrafiche di tipo UBSU (*Unconformity Bounded Stratigraphic Units*), delimitate da superfici di non conformità prodotte da fasi deformative di importanza regionale. L'andamento spaziale delle superfici di separazione delle diverse unità consente di definirne la geometria e la morfologia in cui si riconoscono due direzioni prevalenti di progradazione dei corpi sedimentari: una assiale con vergenza ad est originata dal paleo-delta del Po ed una trasversale con vergenza a sud-est prodotta dai sistemi deltizi ad alimentazione alpina. Nel sottosuolo della pianura lombarda si individuano in particolare due principali superfici di discontinuità a scala regionale che separano tre unità stratigrafiche di nuova istituzione denominate, dal basso verso l'alto, *Supersintema Padano*, *Supersintema Lombardo Inferiore* e *Supersintema Lombardo Superiore*, nel complesso riferibili all'intervallo cronologico Calabriano÷Olocene.

Successione pre Calabriana
Nelle fasi iniziali di riempimento del bacino lombardo si assiste alla deposizione di depositi torbiditici arenaceo-pelitici e conglomeratici di età oligo-miocenica, riferibili al *Gruppo della Gonfolite Lombarda* (Chattiano-Aquitaniano) ed alle formazione delle *Marne di Gallare* (Burdigalliano-Tortoniano), troncate a tetto dalla superficie di inconformità tortoniana, su cui si deposita il corpo grossolano ghiaioso-sabbioso della *Formazione di Sergnano* (Messiniano) a sua volta troncato dalla superficie di inconformità intrazancleana. Su questa superficie si depositano successioni pelitiche plioceniche che sigillano una articolata paleomorfologia, con evidenti zone di alto strutturale separate da incisioni anche molto marcate, identificate come *Argille del Santerno* (Zancleano p.p. ÷ Piacenziano) nella nomenclatura classica ENI o *Argille Azzurre*, costituite da prevalenti argille marnose al cui interno si intercalano locali livelli sabbioso-ghiaiosi di esiguo spessore e saturati da acqua salata, interpretabili come porzioni distali di conoidi sottomarine alimentate dal margine sudalpino.
Al di sopra delle peliti plioceniche si rinviene una potente successione costituita da depositi prevalentemente sabbiosi, di piattaforma e transizionali con intercalazioni argillose e sottili livelli di ghiaie, caratterizzato dalla presenza di fossili marini bentonici e cronologicamente riferibili all'intervallo Gelasiano ÷ Calabriano p.p.. Le sabbie corrispondono alla porzione inferiore del corpo sedimentario indicato come *Sabbie di Asti* nella nomenclatura classica ENI, e alla unità *PLMa* del progetto *GeoMol* (ISPRA 2015) troncata alla sommità da una superficie di inconformità datata a circa 1,5 Ma (Calabriano). Nel complesso la successione, che registra il progressivo colmamento del mare pliocenico padano, presenta carattere regressivo, passando da depositi marini a depositi marino-marginali e transizionali che preludono all'instaurarsi di condizioni francamente continentali nel Calabriano.

Supersintema Padano - PD
L'unità è delimitata alla base da una superficie di inconformità datata a circa 1,5 Ma (Calabriano), corrispondente alla base del *Gruppo Acquifero D* (Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia – Regione Lombardia – ENI, 2002), mentre a tetto è delimitato da una superficie di inconformità datata a circa

0,87 Ma (Calabriano), corrispondente alla base del *Gruppo Acquifero B*. L'unità comprende i *Gruppi Acquiferi C* e *D* ed era tradizionalmente indicata come *Unita Sabbioso-Argillosa* o *Litozona Sabbioso-Argillosa*.
La porzione sommitale dell'unità è costituita da cicli di spessore plurimetrico, costituiti prevalentemente da sabbie, da fini÷molto fini a medie, sabbie limose, limi ed argille, talora contenenti livelli ricchi di materiale organico, con locali intercalazioni di corpi più grossolani, ghiaiosi e sabbiosi, localmente cementati, complessivamente riferibili ad un ambiente di piana alluvionale a meandri. Nell'ambito di tale sequenza deposizionale si osservano cicli fining-upward costituiti da sabbie medie e fini, sia massive che laminate, limi e limi-argillosi, interpretabili come depositi di canale fluviale, talvolta passanti a depositi di abbandono di canale, e come depositi di canale-argine, corpi di spessore metrico costituiti da sabbie medie e fini, localmente grossolane, spesso amalgamati tra loro ed interpretati come depositi di canale fluviale e, localmente, da depositi fini (limi sabbiosi, sabbie fini limose e limi) di canale-argine e limi argillosi di piana alluvionale. Nei settori meridionali della pianura si assiste ad una deposizione nel complesso più fine con prevalenza di limi ed argille con livelli pluricentimetrici di materiale organico, attribuibili ad un ambiente di piana alluvionale, con intercalati corpi sabbiosi a granulometria fine e media a base netta, passanti a limi ed argille, interpretabili come depositi di rotta fluviale. Nelle porzioni settentrionali al di sotto delle facies di piana alluvionale e di piana a meandri, sono riconoscibili sequenze cicliche di ghiaie ben classate di ambiente transizionale (depositi di delta e deltaconoide), talora fossilifere, alternate a limi fossiliferi marini.
La porzione inferiore dell'unità è caratterizzata da depositi prevalentemente sabbiosi con qualche intercalazione argillosa e alcuni livelli di spessore metrico di ghiaie, attribuiti alla porzione superiore delle *Sabbie di Asti*, unità di ambiente marino o marino-marginale, come testimoniato dal loro contenuto in fossili prevalentemente bentonici; il passaggio da depositi transizionali a depositi continentali, evidenziato dalla comparsa di depositi progressivamente più grossolani caratterizzati da alternanze di ghiaie e sabbie, con intercalazioni di argille o limi e livelli di torba, senza tracce evidenti di fossili, avviene a cavallo di una superficie di inconformità databile a circa 1,25 Ma e coincidente con la base del *Gruppo Acquifero C*. La morfologia dei depositi marini o marino-marginali sabbiosi riferibili alle *Sabbie di Asti* riflette la paleomorfologia della linea di costa del bacino pliocenico padano.
In particolare le sequenze deposizionali di piana alluvionale con fiumi a meandri (*Unità 2* dello schema litocronostratigrafico di Scardia e Muttoni - 2008) verso est passano lateralmente a sequenze marino-transizionali caratterizzate da successioni cicliche di limi fossiliferi e sabbie fini bioturbate di ambiente marino, alternate a sabbie medie o grossolane, laminate, di ambiente transizionale (*Unità 1* dello schema litocronostratigrafico di Scardia e Muttoni - 2008). Questi ciclotemi, che verso l'alta pianura passano a ghiaie ben classate con ciottoli appiattiti e Ostreidi alternate ai limi marini, sono interpretabili come l'effetto della progradazione ciclica di delta e delta-conoidi su una piattaforma terrigena di mare basso. È possibile che tale ciclicità sedimentaria sia stata controllata dallefluttuazione glacio-eustatiche del livello del mare (Scardia et al. 2006).
Le sequenze prevalentemente limose fossilifere contenenti faune marine associate a sporadici livelli sabbiosi di spessore generalmente esiguo attribuite al Calabriano, venivano tradizionalmente indicate come *Unità Argillosa* o *Litozona Argillosa*.

Uno schema dei rapporti litocronostratigrafici della pianura lombarda è mostrato di seguito.

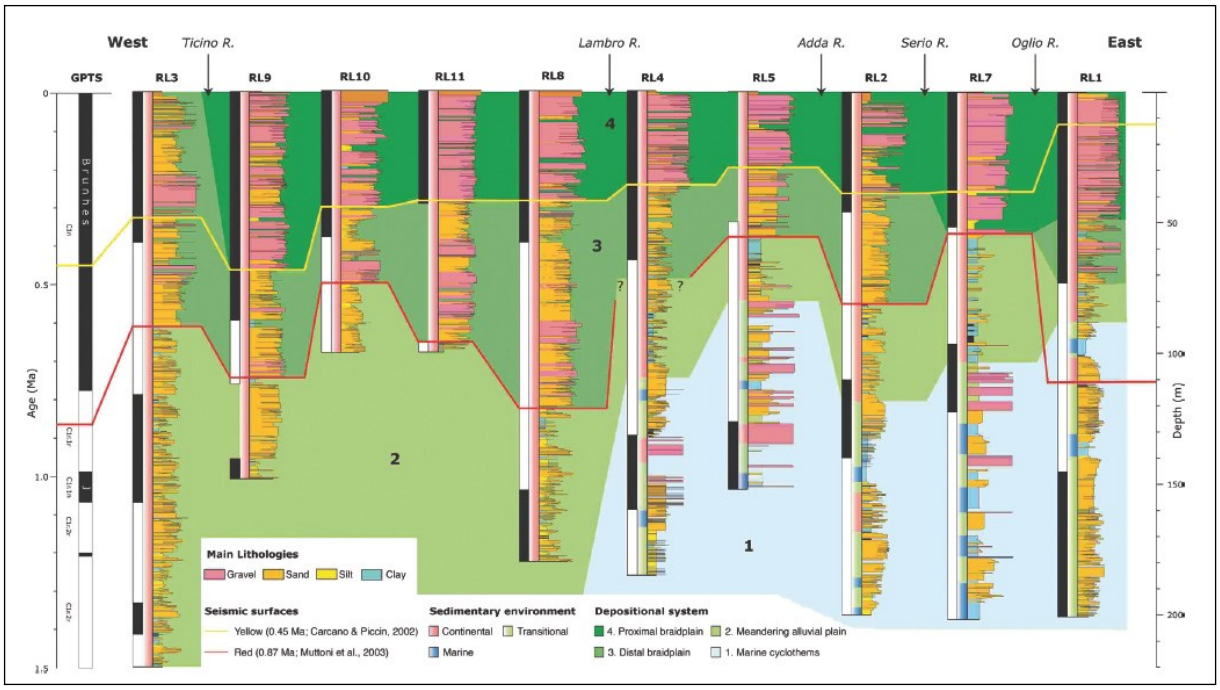


Figura *14 – Schema litocronostratigrafico (da Scardia e Muttoni, 2008)*

Nel complesso quindi il *Supersintema Padano* è caratterizzato alla base da depositi marino-marginali (piattaforma interna e costieri) che evolvono verso l'alto e verso ovest a depositi transizionali (delta, delta-conoide e lagunari) fino a francamente continentali (piana alluvionale). In corrispondenza del sito di progetto la base ed il tetto del Supersintema Padano si individuano attorno alle quote di circa -230 m s.l.m. e -45 m s.l.m. rispettivamente, con uno spessore complessivo di circa 185 m.

Supersintema Lombardo Inferiore - LI

L'unità è delimitata alla base da una superficie di inconformità datata a circa 0,87 Ma (Calabriano), corrispondente alla base del *Gruppo Acquifero B*, caratterizzata da una significativa variazione sedimentologica rispetto alla sottostante *Unità PD*, correlata con l'instaurarsi delle glaciazioni pleistoceniche; è delimitata al tetto da una superficie di inconformità datata a 0,45 Ma (Pleistocene medio), corrispondente alla base del *Gruppo Acquifero A*. L'unità comprende il *Gruppo Acquifero B* e corrisponde in parte alle tradizionali *Unità Ghiaioso-Sabbioso-Limosa* e *Unità a Conglomerati* e alla porzione inferiore della *Litozona Ghiaioso-Sabbiosa*.

I depositi di tale unità sono costituiti da spessi corpi di sabbie medie e grossolane, subordinatamente fini, e ghiaie medie e grossolane, talora con ciottoli, localmente cementati ("*Ceppo*" Auct.p.p.). I livelli sabbiosi sono generalmente massivi, talora laminati, con frequente presenza di ciottoli. Si riconoscono a luoghi grossolane ciclicità fining-upward, talora amalgamate; i livelli pelitici (limi, limi argillosi ed argille limose), generalmente di ridotto spessore, mostrano comunque una certa continuità laterale. Localmente sono segnalati livelli di argille di colore rossastro, attribuibili a paleosuoli.

L'ambiente deposizionale è interpretabile come piana alluvionale; data la presenza significativa di granulometrie sabbiose, tenuto conto del contesto sedimentario di questo settore di bacino, con una elevata disponibilità di materiali grossolani provenienti dagli anfiteatri glaciali presenti al margine sudalpino, e della relativa organizzazione latero-verticale dei sedimenti, si ritiene che l'ambiente deposizionale sia riferibile ad una piana alluvionale braided relativamente distale (*Unità 3* dello schema litocronostratigrafico di Scardia e 0Muttoni - 2008); i corpi sabbioso-ghiaiosi sono riferibili a depositi di canale fluviale di energia medio alta, deposti in un contesto di piana alluvionale caratterizzata dalla brusca divagazione dei canali stessi; le porzioni più fini sono riferibili invece a depositi di piana inondabile o a cicli di abbandono dei canali fluviali. All'interno dell'unità si osserva un aumento delle litologie fini procedendo da nord verso sud.

L'unità comprende verosimilmente, seppur in assenza di elementi di correlazione certi, l'unità di superficie costituita dal *Supersintema del Bozzente*, cronologicamente riferibile al Pleistocene medio.

Nel complesso l'unità è cronologicamente riferibile all'intervallo Calabriano ÷ Pleistocene medio. In corrispondenza del sito di progetto la base ed il tetto del Supersintema Lombardo Inferiore si individuano

attorno alle quote di circa -45 m s.l.m. e +20 m s.l.m. rispettivamente, con uno spessore complessivo di circa 65 m.

Supersintema Lombardo Superiore - LS

L'unità è delimitata alla base da una superficie di inconformità databile a 0,45 Ma (Pleistocene medio), corrispondente alla base del *Gruppo Acquifero A*. L'unità comprende il *Gruppo Acquifero A* e corrisponde alla tradizionale *Unità Ghiaioso-Sabbiosa*.

L'unità è caratterizzata dalla prevalenza di ghiaie grossolane e medie con frequente presenza di ciottoli, spesso mal selezionate, localmente cementate, in strati da medi a spessi, con subordinati livelli di sabbie medie e grossolane e sabbie ghiaiose. Le ghiaie sono prevalentemente *clast-supported*, grossolanamente stratificate, passanti localmente a sabbie ghiaioso ciottolose interpretabili come sequenze amalgamate o incomplete di cicli fining-upward. Litologie fini (limi e limi argillosi) sono talora presenti, ma con ridotta continuità laterale. La scarsità di livelli sabbiosi e di successioni fining-upward ben definite sembra testimoniare la presenza di frequenti fenomeni di erosione in un ambiente fluviale di alta energia, riferibile ad un ambiente deposizionale di piana alluvionale fluvioglaciale, di tipo braided prossimale (*Unità 4* dello schema litocronostratigrafico di Scardia e Muttoni - 2008). Allontanandosi dalle aree di alimentazione la successione sedimentaria mostra una chiara variazione di facies, con graduale aumento verso sud delle litologie sabbiose a scapito di quelle ghiaiose.

L'unità comprende verosimilmente le unità di superficie costituite dal *Sintema di Binago* (Pleistocene medio), dal *Supersintema di Besnate* (Pleistocene medio ÷ Pleistocene superiore), dal *Sintema di Cantù* (Pleistocene superiore) e dal *Subsintema di Ronchetto delle Rane* (Pleistocene superiore), dal *Supersintema di Vengono* (Pleistocene medio ÷ Pleistocene superiore) e dal *Sintema del Po* (Pleistocene superiore ÷ Olocene).

Nel complesso l'unità è cronologicamente riferibile all'intervallo Pleistocene medio ÷ Olocene. In corrispondenza del sito di progetto la base del Supersintema Lombardo Superiore si individua attorno alla quota di circa 20 m s.l.m., con uno spessore complessivo di circa 80 m.

Uno schema dei rapporti stratigrafici e delle correlazioni con le unita stratigrafiche e idrostratigrafiche tradizionali e con i gruppi acquiferi di nuova istituzione descritti più oltre è mostrato di seguito.

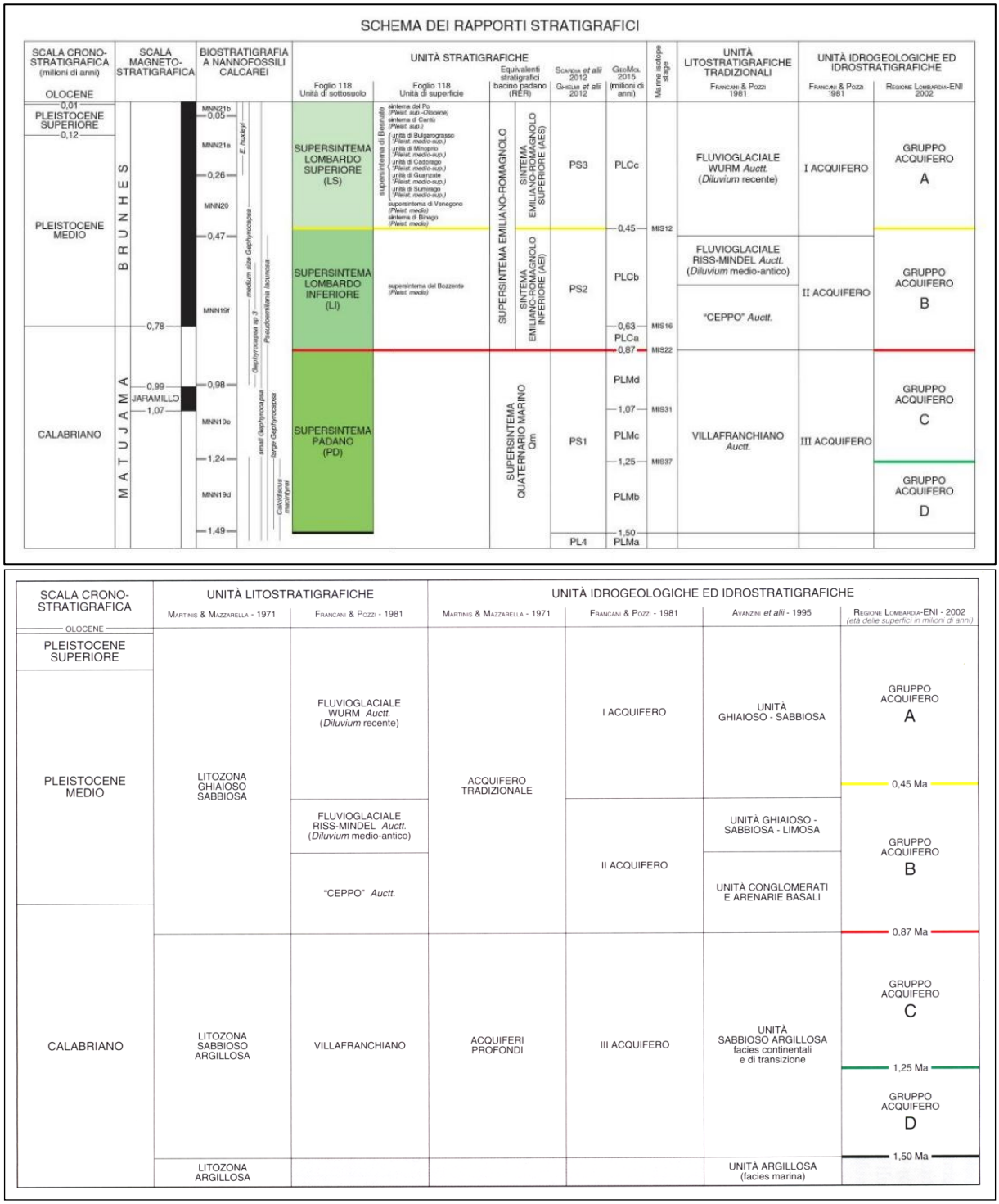


Figura 15 – Schema dei rapporti stratigrafici

Con riferimento alla cartografia ufficiale CARG dei depositi di superficie (fonte dati: Regione Lombardia - Progetto CARG - Foglio 118 Milano) i terreni affioranti nell'area di intervento sono ascrivibili al *Subsintema di Ronchetto delle Rane,* appartenente al *Sintema di Cantù* a sua volta ricompreso nel *Supersintema dei Laghi*, e cronologicamente riferibile al Pleistocene superiore.

L'unità è costituita da depositi fluvioglaciali a bassa energia, caratterizzati prevalentemente da sabbie e sabbie limose da massive a laminate, con locali livelli di sabbie ghiaiose e ghiaie fini; il profilo di alterazione è scarsamente evoluto co suoli a diverso grado di evoluzione, con spessori che si aggirano mediamente attorno ai 1.0-1.5 m, costituenti il cosiddetto "livello fondamentale della pianura".

8.2 Unità idrogeologiche di sottosuolo

In merito agli aspetti idrogeologici dell'area di progetto, come già anticipato al paragrafo precedente, il tradizionale schema idrogeologico della pianura lombarda è stato revisionato ricorrendo a dati sismici, a stratigrafie di pozzi di ricerca per idrocarburi e di sondaggi stratigrafici appositamente condotti pervenendo alla definizione di nuove unità idrostratigrafiche denominate dal basso verso l'alto *Gruppo Acquifero D*, *Gruppo Acquifero C*, *Gruppo Acquifero B* e *Gruppo Acquifero A* (Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia – Regione Lombardia – ENI, 2002).
I gruppi acquiferi così definiti corrispondono ad unità stratigrafiche di tipo UBSU (*Unconformity Bounded Stratigraphic Units*), delimitate da superfici di non conformità prodotte da fasi deformative di importanza regionale e tra di loro idraulicamente separate da estesi livelli di sedimenti fini.
I gruppi acquiferi individuati sono di seguito descritti dal basso verso l'alto

Gruppo Acquifero D
È costituito dagli orizzonti permeabili contenuti all'interno delle sequenze prevalentemente fini di deposizione marina, già indicata come *Unità Argillosa* o *Litozona Argillosa*, e nella porzione inferiore del *Supersintema Padano*, di ambiente deposizionale marino-marginale e transizionale, già indicata come *Unità Sabbioso Argillosa* o *Litozona Sabbioso Argillosa*, corrispondente alla porzione inferiore degli acquiferi profondi anche indicati come *III Acquifero*; gli orizzonti acquiferi presenti all'interno di tale gruppo acquifero risultano confinati ed in condizioni di artesianesimo in considerazione della presenza di abbondanti livelli fini di separazione molto estesi arealmente. La porzione inferiore del gruppo acquifero è saturata in acqua salmastra. In corrispondenza del sito di progetto l'Unità ha uno spessore di circa 60 m

Gruppo Acquifero C
È costituito dagli orizzonti sabbiosi permeabili contenuti all'interno della porzione superiore del *Supersintema Padano*, di ambiente deposizionale di piana alluvionale a meandri, già indicata come *Unità Sabbioso Argillosa* o *Litozona Sabbioso Argillosa*, corrispondente alla porzione superiore degli acquiferi profondi anche indicati come *III Acquifero*; gli orizzonti acquiferi presenti all'interno di tale gruppo acquifero risultano confinati ed in condizioni di artesianesimo in considerazione della presenza di abbondanti livelli fini di separazione molto estesi arealmente. In corrispondenza del sito di progetto l'Unità ha uno spessore di circa 125 m. L'unità è sede di falde idriche profonde protette di tipo confinato, generalmente riservate all'uso potabile e captate dai filtri più profondi dei pozzi del pubblico acquedotto.

Gruppo Acquifero B
Corrisponde al *Sintema Lombardo Inferiore*, caratterizzato da un ambiente deposizionale di piana alluvionale braided relativamente distale; i corpi sabbioso-ghiaiosi sono riferibili a depositi di canale fluviale di energia medio alta, depositi in un contesto di piana alluvionale caratterizzata dalla brusca divagazione dei canali stessi; le porzioni più fini sono riferibili invece a depositi di piana inondabile o a cicli di abbandono dei canali fluviali.
All'interno dell'unità in esame si assiste ad una generale diminuzione della granulometria dei depositi procedendo dai settori settentrionali a quelli meridionali della pianura, dove prevalgono sequenze sabbioso-limose fini. In corrispondenza del sito di progetto l'Unità ha uno spessore di circa 65 m.
Il *Gruppo Acquifero B* corrisponde alla porzione profonda dell'*Acquifero Tradizionale*, già indicato come *II Acquifero*, intensamente sfruttato per approvvigionamento idropotabile, ed è caratterizzato da generali condizioni di confinamento o semi-confinamento dei livelli acquiferi. L'unità corrisponde altresì alla porzione inferiore della *Litozona Ghiaioso Sabbiosa*, alla *Unità Ghiaioso Sabbioso Limosa* ed alla *Unità a Conglomerati ed Arenarie Basali*.

Gruppo Acquifero A
Corrisponde al *Sintema Lombardo Superiore*, riferibile ad un ambiente deposizionale di piana alluvionale fluvioglaciale, di tipo braided prossimale, ed è caratterizzato dalla prevalenza di ghiaie grossolane e medie con frequente presenza di ciottoli, spesso mal selezionate, localmente cementate, in strati da medi a spessi, con subordinati livelli di sabbie medie e grossolane e sabbie ghiaiose e rari livelli fini di limi sabbiosi e argille giallo/brune privi di continuità laterale. All'interno dell'unità in esame si assiste ad una generale diminuzione della granulometria dei depositi procedendo dai settori settentrionali a quelli meridionali della pianura, ed in corrispondenza dell'area in esame l'unità risulta costituita prevalentemente da sabbie da debolmente limose

a limose con locali livelli di ghiaie fini. In corrispondenza del sito di progetto l'Unità ha uno spessore di circa 80 m.
I livelli più permeabili contenuti all'interno dell'unità in esame costituiscono livelli acquiferi non confinati, che nel complesso danno luogo ad un sistema multifalda tradizionalmente assimilato ad un acquifero monostrato ed indicato come *I Acquifero* o *Acquifero Tradizionale*, già intensamente sfruttato per approvvigionamento idropotabile, corrispondente alla tradizionale *Unità Ghiaioso-Sabbiosa* ed alla porzione superiore della *Litozona Sabbioso-Ghiaiosa*, attualmente caratterizzata nell'area di progetto da soggiacenze medie di circa 1-3 m da p.c..

8.3 Caratteri piezometrici locali

La morfologia della superficie piezometrica della falda superiore (contenuta nel *Gruppo Acquifero A*) in questo settore della pianura milanese mostra una falda di tipo radiale molto debolmente divergente, con componenti del flusso idrico sotterraneo orientate NW-SE e gradiente idraulico medio attorno a 1 ‰.

La dinamica nel tempo delle variazioni della superficie piezometrica è illustrata dai grafici più oltre riportati, ottenuti dalle misure di livello a cadenza mensile sul pozzo cod. 001 di Noviglio e sul pozzo cod. 001 di Zibido San Giacomo, con dati dal 1980 al 1988, sul pozzo cod. 005 di Via Vivaldi a Basiglio, con serie dal 1999 al marzo 2014, appartenente alla rete di controllo Amiacque s.r.l., e sui piezometri di controllo dell'ambito estrattivo ATEg31 in comune di Zibido San Giacomo con serie dal marzo 1998 a giugno 2013, ubicati rispettivamente a circa 2,0 km a NO, a 4,0 km a NE, a 6,2 km e a 4,8 km ENE del sito.

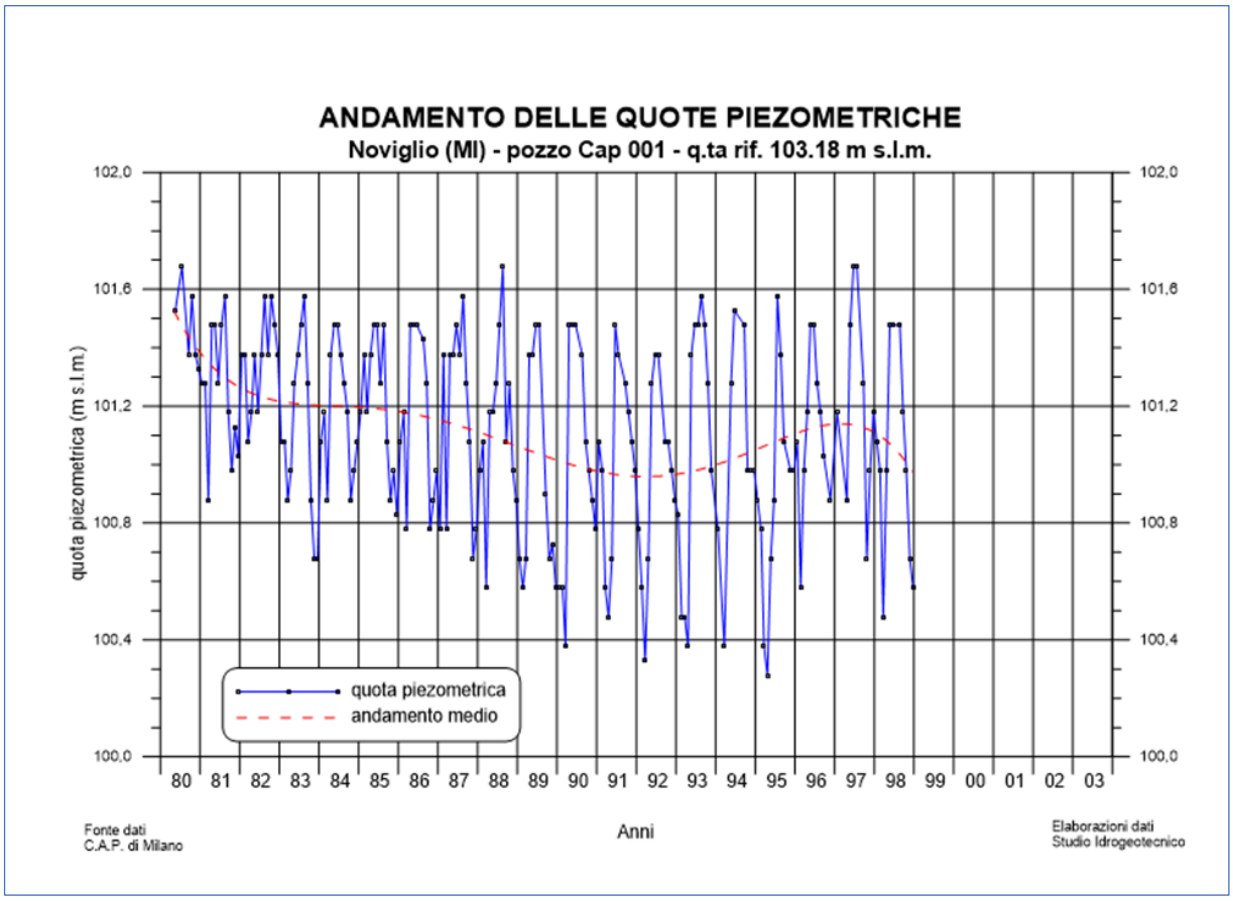


Figura 16 – Andamento quote piezometriche - pozzo Cap 001 Noviglio

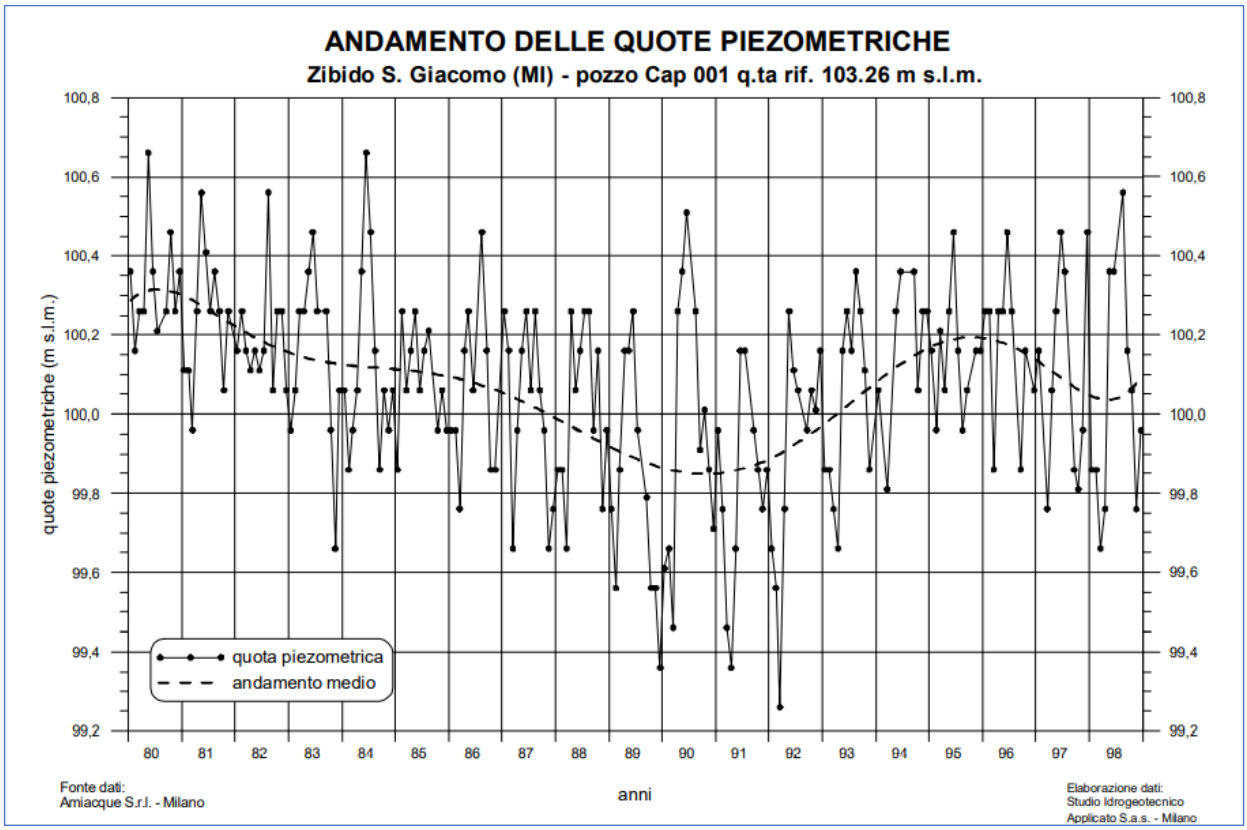


Figura 17 – Andamento quote piezometriche - pozzo Cap 001 Zibido San Giacomo

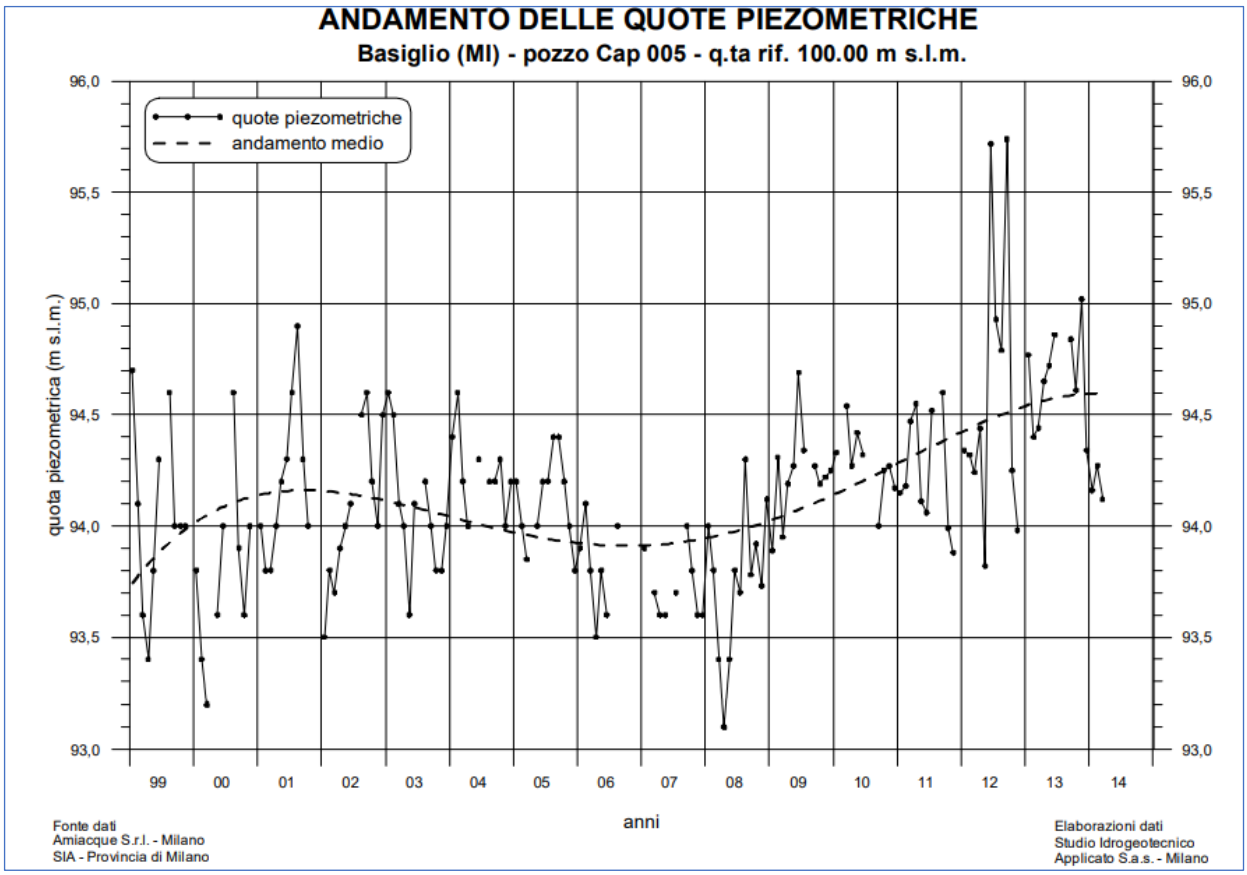


Figura 18 – Andamento quote piezometriche - pozzo Cap 005 Basiglio

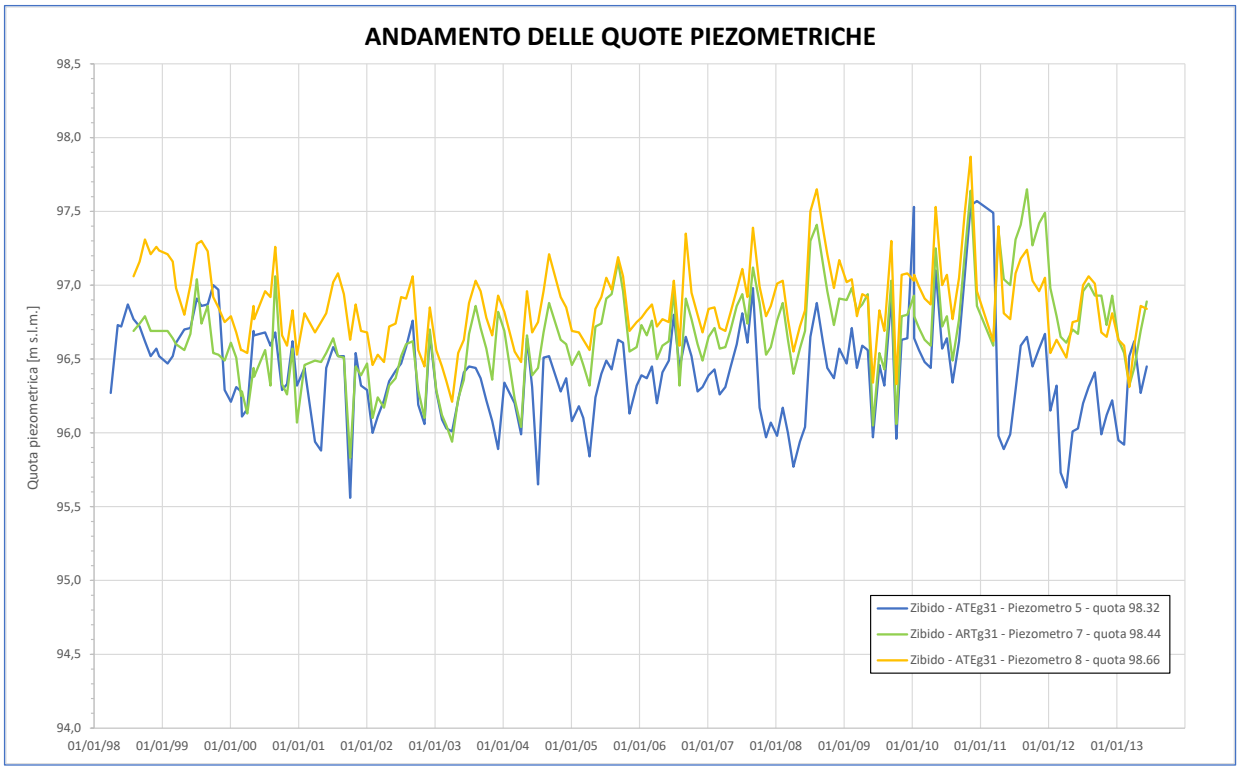


Figura 19 – Andamento quote piezometriche - piezometri ATEg31 Zibido San Giacomo

Le serie storiche disponibili evidenziano un abbassamento della superficie piezometrica verificatosi dall'inizio degli anni '80 fino al 1992, in relazione ad un'alimentazione deficitaria degli acquiferi registrata a livello regionale, determinata dagli scarsi apporti meteorici di tale periodo. Dal 1993 al 1997 si assiste ad un innalzamento dei livelli (circa 1 m) conseguente ad un moderato aumento delle precipitazioni medie; a partire dal 1998, si assiste ad una nuova tendenza alla progressiva decrescita piezometrica, interrotta dall'innalzamento dei livelli conseguente agli eventi alluvionali dell'ottobre 2000 e del novembre 2002. Gli scarsi apporti meteorici del periodo 2003-2007 hanno causato un nuovo abbassamento delle quote piezometriche medie, dapprima lieve, poi marcato (minimo piezometrico nell'aprile 2008. L'aumento delle precipitazioni registrato dal 2008 sino a tutt'oggi ha determinato una generalizzata risalita dei livelli (+1 m), con massimi piezometrici nel giugno e settembre 2012. La dinamica della falda nell'ultimo ventennio mostra pertanto il prevalere di fattori naturali di ricarica, legati all'andamento dei regimi meteorici, rispetto all'entità dei prelievi in atto, generalmente stazionari.

L'alimentazione della falda superiore è inoltre significativamente correlata, oltre che all'afflusso da monte ed al regime meteorico, anche alla presenza di estese aree agricole, le cui pratiche irrigue condizionano fortemente il regime oscillatorio della falda. A scala annuale, i grafici evidenziano cicliche oscillazioni stagionali legate ai periodi irrigui, che determinano massimi piezometrici tardo estivi (fine settembre – inizio ottobre) e minimi tardo-invernali/primaverili (fine marzo – inizio aprile), con escursioni variabili in funzione dell'andamento climatico della stagione irrigua. A stagioni piovose corrispondono escursioni di livello più limitate, determinate dal minor ricorso all'irrigazione per le necessità colturali; viceversa, irrigazioni più frequenti nelle stagioni maggiormente siccitose provocano maggiori escursioni piezometriche. Le variazioni di livello a scala annuale raggiungono mediamente valori di circa 50÷80 cm, con massimi di circa 150 cm.

Sulla base delle misure piezometriche condotte sui piezometri installati nell'area di Progetto si può definire un livello piezometrico di Progetto pari a + 97.9 m a.s.l. come mostrato nella seguente tabella (cfr. Tabella 2).

piezometric tube	ground level. [m a.s.l..]	water table depth [m b.g.l.]	groundwater level [m a.s.l.]	Data
PZ1	99,15	1,13	**98,02**	06/10/2020
	99,15	-	**-**	08/09/2022
PZ2	98,65	0,87	**97,78**	06/10/2020
	98,65	1,13	**97,52**	08/09/2022

Tabella 2 – misure piezometriche

Poiché le misure di ottobre sono rappresentative delle condizioni di massimo piezometrico stagionale possono essere assunti per la definizione del livello piezometrico di progetto al centro dell'area. Dalle misure piezometriche del 06/10/2020, tenuto conto della distanza relativa dei punti di misura si determina un gradiente idraulico di circa 1‰.

La morfologia della superficie piezometrica al 2013 desunta dal PGT di Noviglio è mostrata nella seguente *Figura 20*.

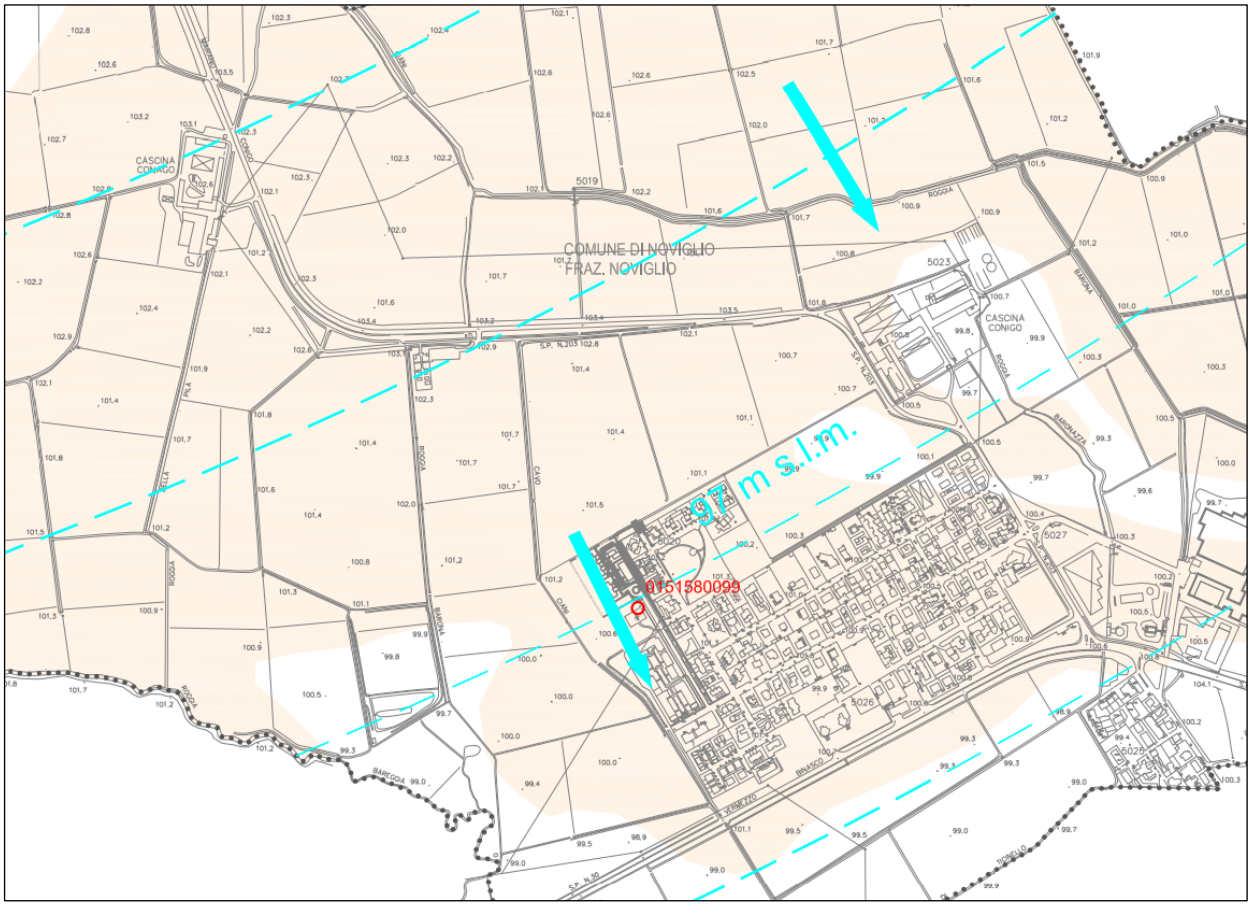


Figura 20 – carta piezometrica (da PGT Noviglio – 2013)

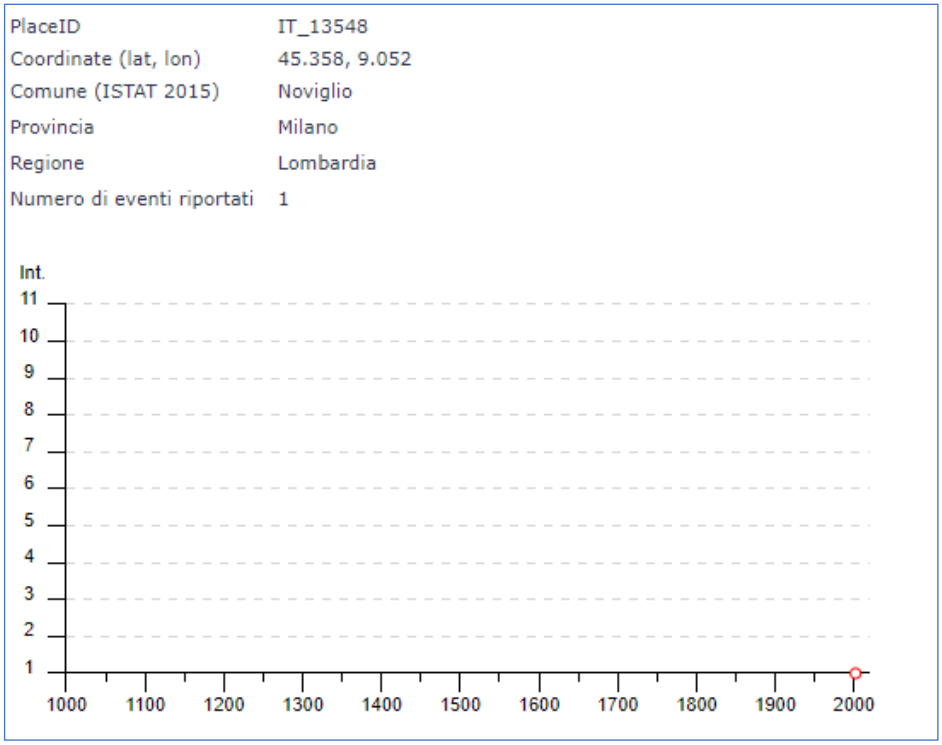
9 Section I: Elementi di sismica generale

I paragrafi seguenti riportano una descrizione della sismicità storica e recente del territorio esaminato ed un inquadramento riferito agli assetti normativi in vigore. I dati di base utili per la definizione degli elementi di sismica generale dell'area in esame sono stati ricavati dalle pubblicazioni e data base di settore disponibili presso le Istituzioni e gli Enti di riferimento.

9.1 Sismicità storica

Con riferimento all'analisi della sismica storica del territorio interessato, vengono esaminati i dati riportati nel DBMI15 v.4.0, che contiene 23981 dati di intensità relativi a 3229 terremoti nella finestra temporale 1000-2020. L'ultima versione del Database Macrosismico Italiano, chiamata DBMI15 è stata rilasciata a gennaio 2022 e aggiorna e sostituisce la precedente, DBMI15 3.0.
DBMI fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani nella finestra temporale 1000-2020. I dati provengono da studi di autori ed enti diversi, sia italiani che di paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).
I dati di intensità macrosismica (MDP, Macroseismic Data Point) sono raccolti e organizzati da DBMI per diverse finalità. La principale è fornire una base di dati per la determinazione dei parametri epicentrali dei terremoti (localizzazione e stima di magnitudo) per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI). L'insieme di questi dati consente inoltre di elaborare le "storie sismiche" di migliaia di località italiane, vale a dire l'elenco degli effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità, osservati nel corso del tempo a causa di terremoti.

Per il Comune di Noviglio l'interrogazione del Database riporta un solo risentimento con intensità al sito inferiore ad 1, relativo all'evento del 13/11/2002 che interessò la Franciacorta con magnitudo momento all'epicentro Mw di 4.2, come mostrato nella seguente figura.



Effetti	In occasione del terremoto del								
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
NF	2002	11	13	10	48	0	Franciacorta	768	5	4.21

Figura 21 – Risentimenti sismici a Noviglio da DBMI15

Interrogando il Database per un'area circolare con raggio di 25 km centrata sul sito di progetto si ottiene la distribuzione di eventi simici di seguito mostrata.

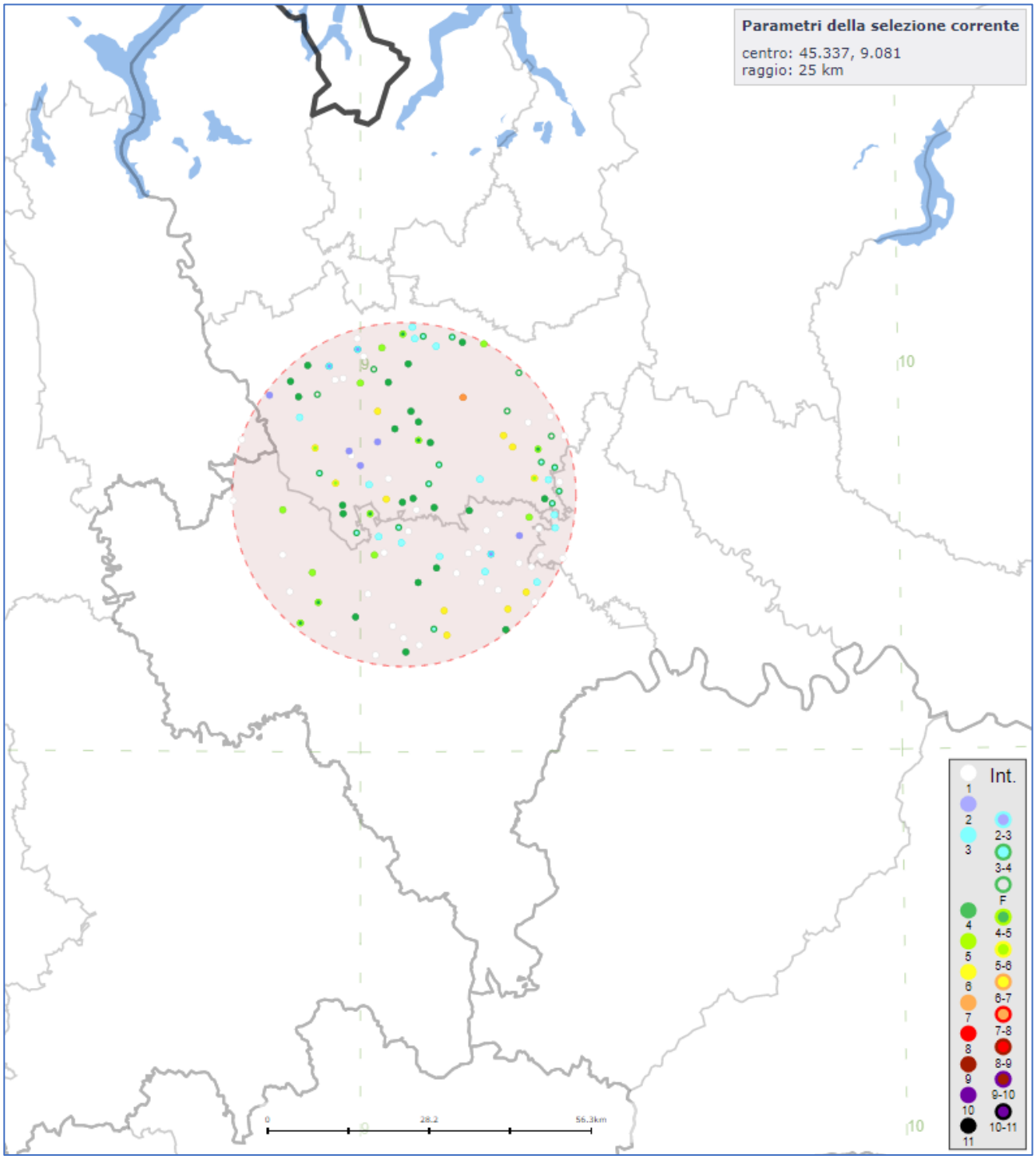


Figura 22 – Risentimenti sismici attorno a Noviglio da DBMI15

L'estrazione riporta 122 eventi con intensità macrosimica al sito generalmente inferiori a 5.

L'analisi della sismicità storica del comune di Milano, poco a nord del sito di progetto, riporta nel periodo di osservazione considerato 110 eventi, ed evidenzia risentimenti con intensità macrosimica massima generalmente inferiori a 5 con alcuni eventi di intensità compresa tra 5 e 6 ed un solo evento di intensità pari a 7, come mostrato di seguito in forma grafica e tabellare.

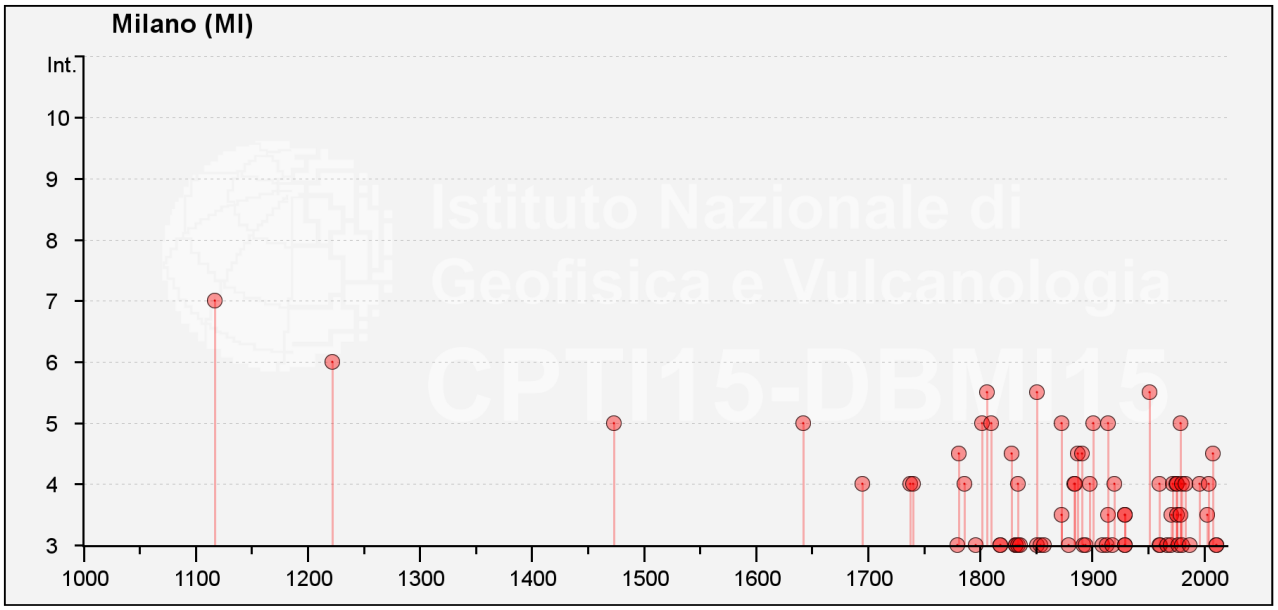


Figura 23 – Storia sismica del comune di Milano (da DBMI15)

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
F	1065 03 27	Brescia	2	7	5,10
7	1117 01 03 15 15	Veronese	55	9	6,52
6	1222 12 25 12 30	Bresciano-Veronese	18	7-8	5,68
F	1295 09 03	Grigioni, Churwalden	17	8	6,20
D	1348 01 25	Alpi Giulie	89	9	6,63
5	1473 05 07 07 45	Milanese	5	4	3,70
NF	1511 03 26 15 30	Friuli-Slovenia	120	9	6,32
F	1522 10 05 00 10	Pianura Padana	6	5	4,71
F	1570 11 17 19 10	Ferrarese	58	7-8	5,44
5	1642 06 13	Pianura lombarda	8	6	4,92
F	1653 04 19 04 15	Reggiano	4	5-6	4,40
F	1661 03 12	Prealpi bergamasche	4	6-7	4,86
4	1695 02 25 05 30	Asolano	107	10	6,40
2	1703 01 14 18	Valnerina	197	11	6,92
2	1703 02 02 11 05	Aquilano	69	10	6,67
4	1738 11 05 00 30	Emilia occidentale	10	7	5,10
4	1740 03 06 05 40	Garfagnana	32	8	5,64
2-3	1743 02 20	Ionio settentrionale	84	9	6,68
F	1751 11 21	Liguria	6	4	3,70
F	1779 07 14 19 30	Bolognese	17		
3	1780 02 06 04	Bolognese	9	6-7	5,06
4-5	1781 09 10 11 30	Pianura lombarda	11	6-7	4,93
4	1786 04 07 00 15	Pianura lombarda	10	6-7	5,22
3	1796 10 22 04	Emilia orientale	27	7	5,45
5	1802 05 12 09 30	Valle dell'Oglio	94	8	5,60
5-6	1806 02 12	Reggiano	28	7	5,21
2	1808 04 02 16 43	Val Pellice	105	8	5,64
5	1810 12 25 00 45	Pianura emiliana	33	6	5,06
F	1811 07 15 22 44	Modenese-Reggiano	19	6-7	5,13
3	1818 02 23 18 10	Liguria occidentale	45	7	5,32
3	1818 12 09 18 55	Parmense	26	7	5,24
F	1826 06 24 12 15	Garda occidentale	20	5	4,62
4-5	1828 10 09 02 20	Oltrepò Pavese	110	8	5,72
F	1831 09 11 18 15	Pianura emiliana	25	7-8	5,48
2-3	1831 09 13 05 30	Pianura emiliana	7		
2-3	1832 03 11 06 45	Carpi	14	5	4,51
3	1832 03 11 08 45	Parmense	14		
3	1832 03 13 03 30	Reggiano	97	7-8	5,51
4	1834 02 14 13 15	Val di Taro-Lunigiana	112	9	5,96
3	1834 07 04 00 45	Val di Taro-Lunigiana	24	6-7	5,08
3	1836 06 12 02 30	Asolano	26	8	5,53
NF	1840 08 27 12 05	Tuhinj Valley	49	7	5,28
2	1846 08 14 12	Colline Pisane	121	9	6,04
5-6	1851 02 05 09 50	Valtellina	30	5	4,72
3	1851 08 03	Valli Giudicarie	15	6	4,92
3	1854 12 29 01 45	Liguria occidentale	86	7-8	5,72
3	1857 02 01	Parmense-Reggiano	22	6-7	5,11
2	1873 03 12 20 04	Appennino marchigiano	196	8	5,85
5	1873 06 29 03 58	Alpago Cansiglio	197	9-10	6,29
3-4	1873 09 17	Appennino tosco-ligure	64	6-7	5,26
NF	1875 03 17 23 51	Costa romagnola	144	8	5,74
3	1879 02 14	Garda occidentale	13	5	4,62
4	1884 09 12 07 23	Pianura lombarda	34	6	4,70
4	1885 02 26 20 48	Pianura Padana	78	6	5,01
F	1886 09 05	Torinese	101	7	5,22
4-5	1887 02 23 05 21 50.00	Liguria occidentale	1511	9	6,27
4-5	1891 06 07 01 06 14.00	Valle d'Illasi	403	8-9	5,87
3	1892 01 05	Garda occidentale	93	6-7	4,96
3	1894 11 27 05 07	Bresciano	183	6	4,89
2	1895 08 07 19 49 32.00	Appennino tosco-emiliano	84	5	4,67
4	1898 03 04 21 05	Parmense	313	7-8	5,37
5	1901 10 30 14 49 58.00	Garda occidentale	289	7-8	5,44
3	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5,36

Tabella 3 – Storia sismica del comune di Milano (da DBMI15)

Le massime intensità macrosimiche osservate sono relative all'evento del 1117 che interessò il veronese, con magnitudo momento all'epicentro pari a 6.52; più frequenti sono gli effetti dovuti a scuotimenti con epicentro nel bresciano e nella gardesana occidentale con magnitudo momento generalmente comprese tra 5 e 5.6 che danno luogo ad intensità macrosimiche osservate comprese tra 5 e 6.

9.2 Sismicità recente

Per quanto concerne i sismi che hanno interessato l'area di studio dal 1985 ad oggi, i dati sono stati recuperati dal database ISIDE dell'INGV considerando un'area di raggio pari a 100 km dal sito di progetto.
Nel periodo esaminato si sono stati registrati 191 eventi con magnitudo superiore a 3 e con massimo di 4.8 relativo all'evento del 21/08/2000 che interessò l'alessandrino con epicentro in corrispondenza di Quattordio (AL); si riporta di seguito la planimetria con la localizzazione degli eventi in rapporto all'area di intervento evidenziata con circolo rosso, ed una tabella riportante i primi 20 eventi ordinati per magnitudo decrescente.

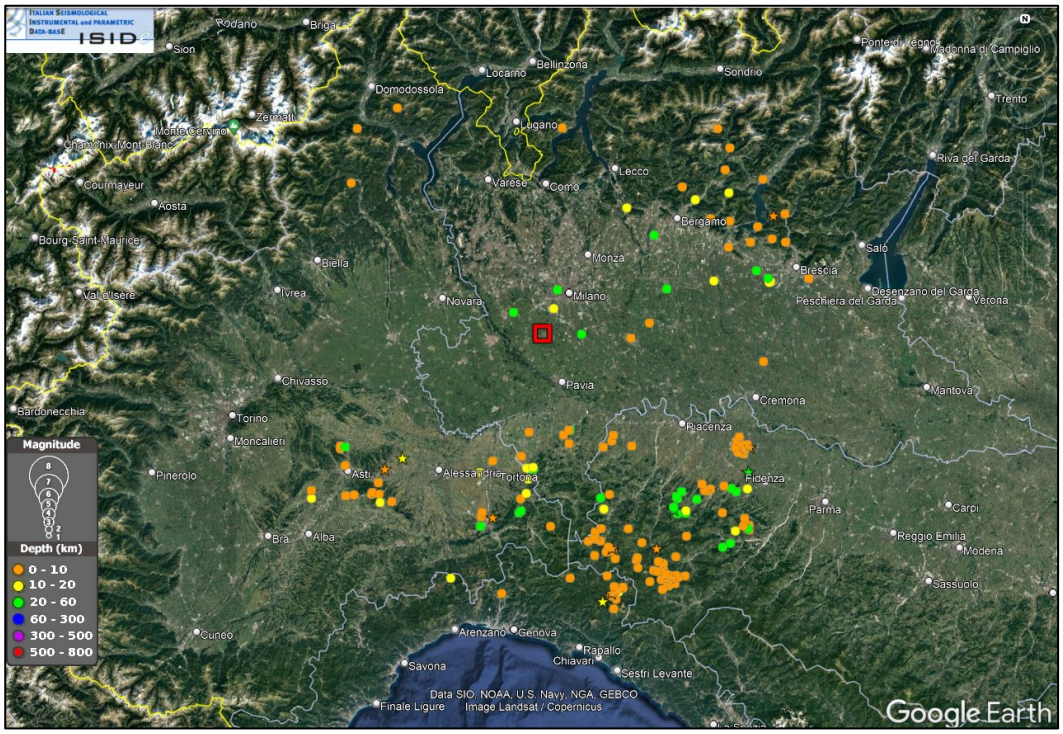


Figura 24 – Database ISIDE - Periodo 1985 – settembre 2022. Mappatura dei sismi con Magnitudo ≥ 3

Fuso Orario: Italia | Dal 1985-01-01 | Magnitudo: 3+ | Punto: (45.3366, 9.0872) - Raggio: 100 km | Personalizza Ricerca | Mappa

Visualizzati terremoti da 1 a 30 dei 191 trovati (Ordinamento Magnitudo Decrescente) — Esporta lista (UTC)

Data e Ora (Italia)	Magnitudo	Zona	Profondità	Latitudine	Longitudine
2000-08-21 19:14:28	**Md 4.8**	**2 km W Quattordio (AL)**	5	44.91	8.39
2003-04-11 11:26:57	**Md 4.5**	**1 km SE Cassano Spinola (AL)**	8	44.76	8.87
2012-10-03 16:41:29	**Mw 4.3**	**5 km E Bettola (PC)**	24	44.78	9.67
2002-11-13 11:48:03	**Md 4.2**	**2 km SE Sale Marasino (BS)**	5	45.70	10.13
2007-07-30 21:05:43	**Mw 4.2**	**3 km E Alseno (PC)**	21	44.90	10.00
1985-08-15 20:58:05	**Md 4.1**	**6 km S Farini (PC)**	10	44.66	9.59
1991-10-31 10:31:18	**Md 4.0**	**3 km W Busseto (PR)**	5	44.98	10.01
2012-03-05 16:15:06	**Mw 4.0**	**5 km SW Rezzoaglio (GE)**	11	44.49	9.35
2001-07-19 00:47:11	**Md 4.0**	**2 km W Quargnento (AL)**	10	44.94	8.47
2011-10-20 08:11:18	**ML 4.0**	**1 km SE Rezzoaglio (GE)**	5	44.52	9.39
2020-04-16 11:42:51	**Mw 4.0**	**4 km E Cerignale (PC)**	6	44.66	9.40
1995-10-29 14:00:25	Md 3.9	3 km NW Cologne (BS)	5	45.61	9.93
2021-12-18 11:34:47	Mw 3.9	1 km W Dalmine (BG)	31	45.65	9.59
2018-05-19 18:41:21	Mw 3.9	4 km W Gropparello (PC)	29	44.82	9.68
1985-08-16 21:39:36	Md 3.9	9 km E Ferriere (PC)	9	44.62	9.60
2009-10-19 12:08:49	Mw 3.9	4 km SE Gropparello (PC)	24	44.81	9.77
2005-04-19 09:42:01	ML 3.8	5 km NE Morfasso (PC)	25	44.77	9.72
2020-12-17 16:59:22	ML 3.8	3 km W Milano (MI)	55	45.47	9.15
2020-04-19 11:53:40	ML 3.7	1 km SE Redavalle (PV)	25	45.03	9.21
2011-10-20 08:10:51	ML 3.7	2 km E Rezzoaglio (GE)	8	44.53	9.42

Figura 25 – Database ISIDE - Periodo 1985 – settembre 2022. Elenco dei primi 20 sismi con Magnitudo ≥ 3

9.3 Contesto geodinamico e sorgenti sismogenetiche

La sismicità risentita nell'area di progetto, non compresa in alcuna zona sismogenetica, è riferibile dal punto di vista geodinamico prevalentemente alle zone sismogenetiche 907 e 911 della zonazione ZS9.
La sismicità della zona sismogenetica 907 è legata alla convergenza attiva tra la placca Adria e la placca Europea e si esplica attraverso meccanismi di fagliazione a prevalente componente inversa, che danno luogo a terremoti con ipocentri mediante compresi nella classe di profondità 8÷12 km. La zona include la parte più bassa delle province di Bergamo e Brescia. È caratterizzata da una sismicità di energia normalmente medio-bassa con la sola eccezione del terremoto di Soncino evento del 1802, a cui viene assegnata una magnitudo Mw intorno a 5.9. La zona sismogenetica 911, che comprende il cosiddetto "arco di Pavia" e le strutture ad esso relative, costituisce una zona di svincolo cinematico tra il sistema alpino ed il sistema appenninico ed è caratterizzata da meccanismi di fagliazione prevalentemente trascorrenti sinistrorsi in strutture crostali superficiali e dip-slip in strutture più profonde che danno luogo a terremoti con ipocentri mediante compresi nella classe di profondità 8÷12 km.

L'ubicazione delle zone sismogenetiche ed i meccanismi focali prevalenti ad esse associati sono mostrati di seguito in rapporto all'area di progetto.

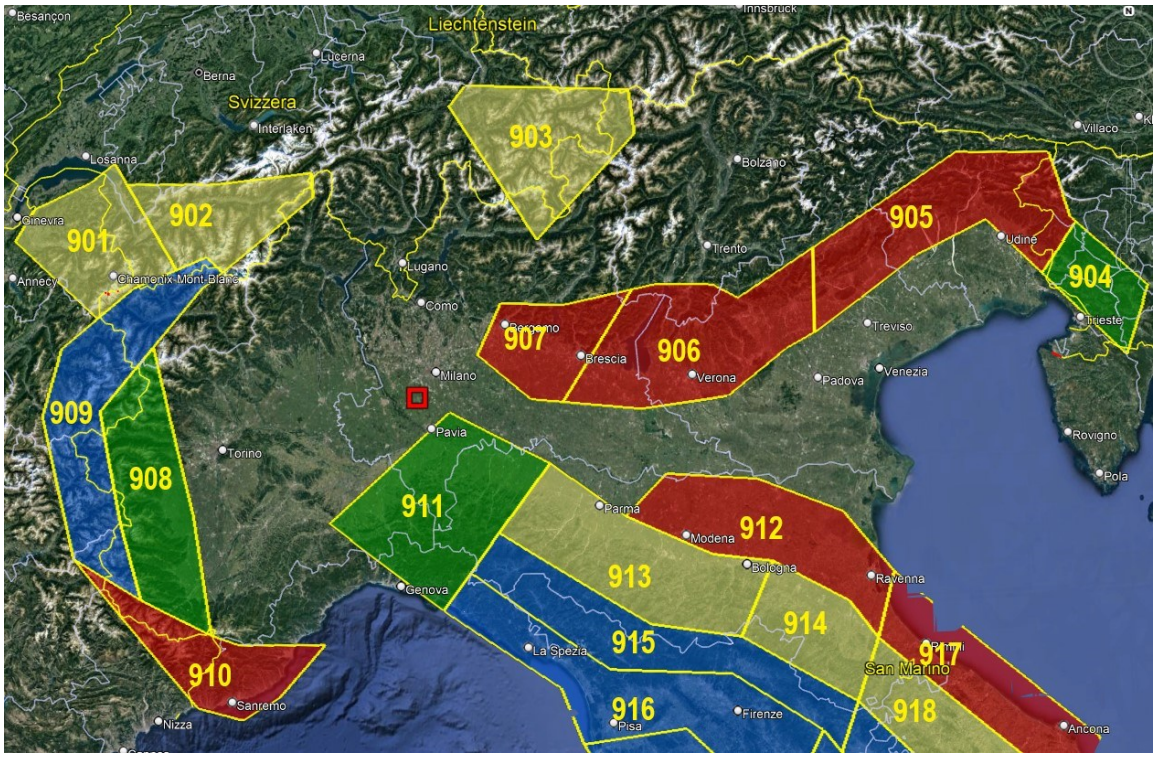


Figura 26 – Zone sismogenetiche ZS9

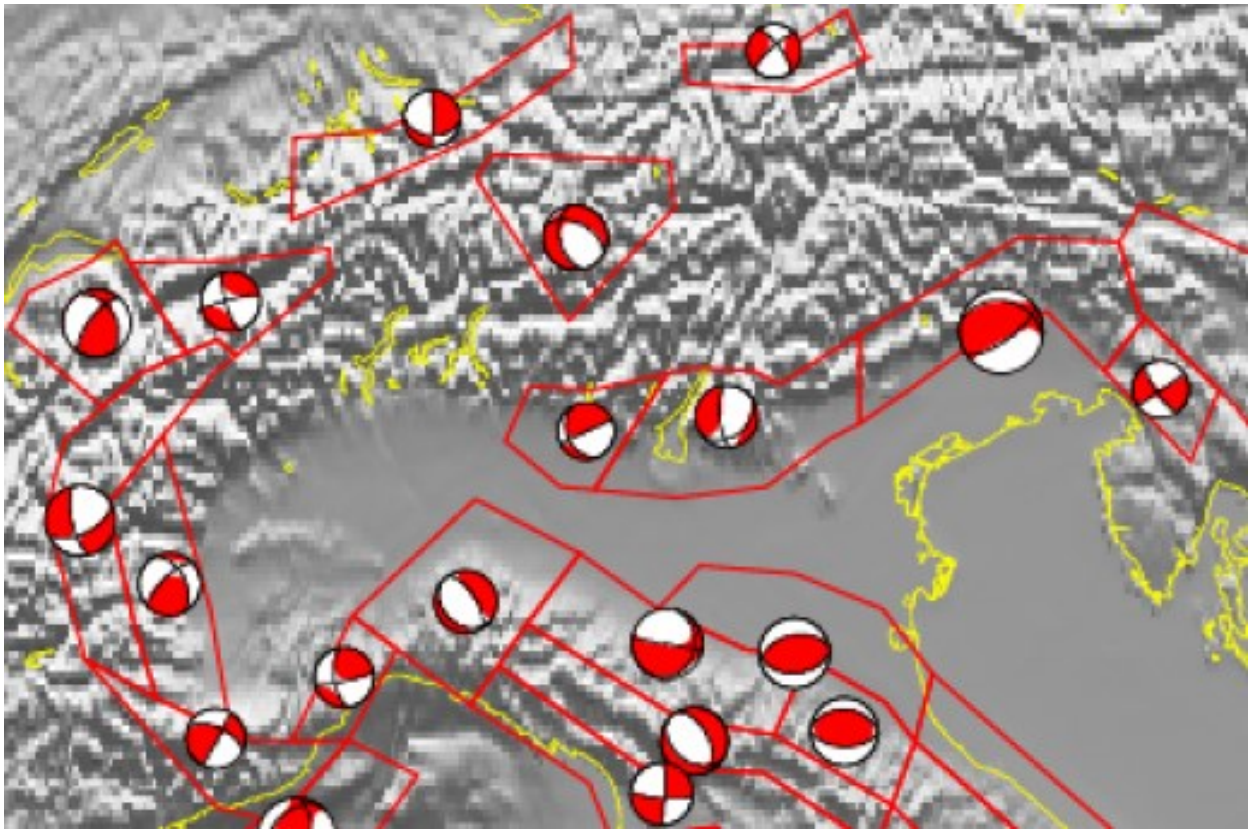


Figura 27 – Meccanismi focali

All'interno del contesto geodinamico sopra definito il database DISS 3.3.0, curato ed aggiornato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, costituisce un inventario georeferenziato di informazioni tettoniche, strutturali e paleosismologiche utili per la valutazione della pericolosità sismica del territorio a scala regionale. Il progetto DISS, che è relativo a potenziali sorgenti sismogenetiche in grado di dar luogo ad eventi sismici con magnitudo superiore a 5.5, identifica:

- le **sorgenti sismogenetiche individuali**, che costituiscono una rappresentazione tridimensionale semplificata di piani di faglia che mostrano comportamenti caratteristici in rapporto alla lunghezza ed alla ampiezza della zona di rottura ed alla magnitudo attesa.
- le **sorgenti sismogenetiche composite**, che costituiscono una rappresentazione tridimensionale semplificata di faglie crostali contenenti un numero imprecisato di sorgenti sismogenetiche che non possono essere distinte singolarmente. Le sorgenti composite non sono associate a specifici set di terremoti o a distribuzioni spaziali di terremoti.
- le **sorgenti sismogenetiche dibattute**, che sono faglie attive proposte come sorgenti sismogenetiche potenziali nella letteratura di settore ma non considerate sufficientemente affidabili o i cui parametri non hanno potuto essere inclusi in nessuna delle altre categorie.
- le **zone di subduzione**, che costituiscono ricostruzioni tridimensionali semplificate di zone di subduzione complesse, rappresentate da isolinee di profondità del lembo in subduzione e che, come le sorgenti composite, non sono associate a specifici set di terremoti o a distribuzioni spaziali di terremoti

Nella figura seguente si mostra l'ubicazione delle sorgenti sismogenetiche più prossime al sito di intervento, identificato con riquadro rosso.

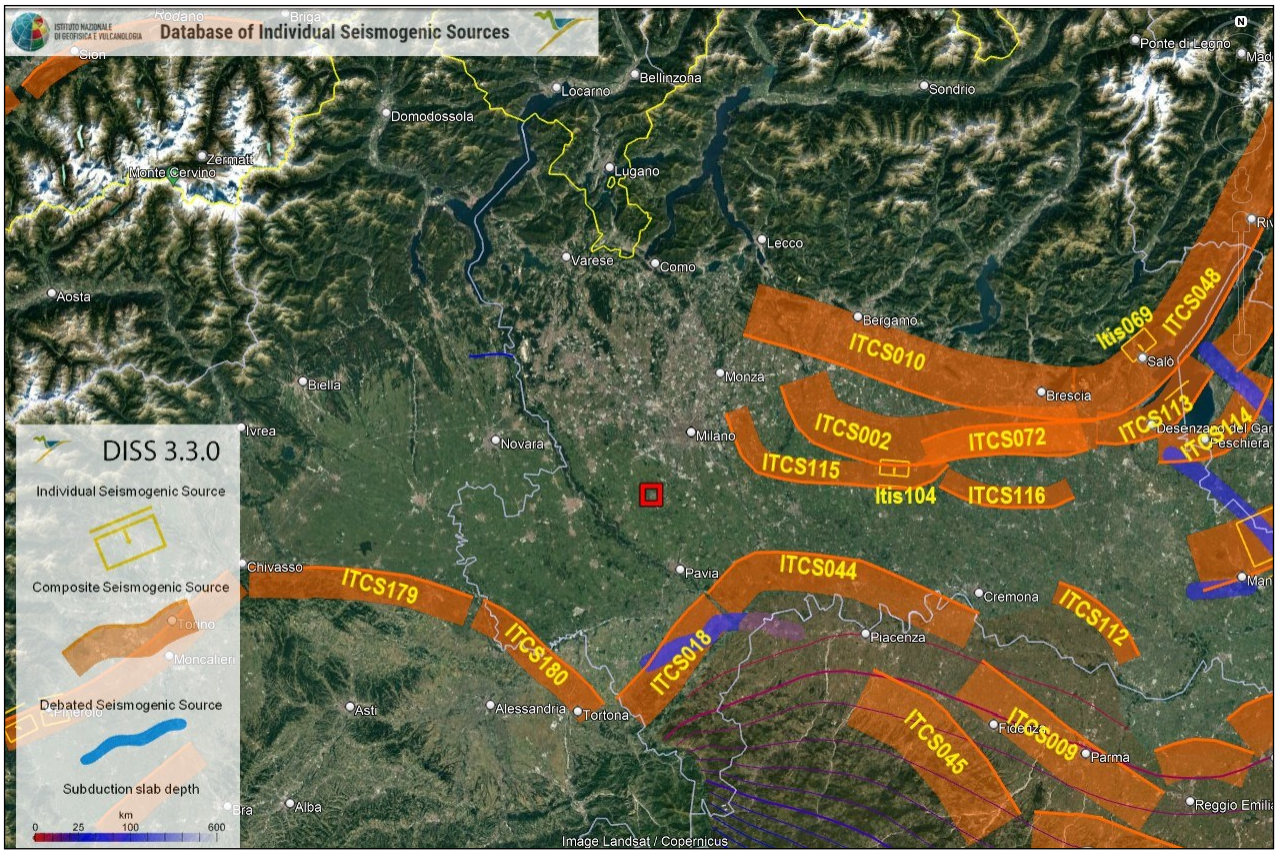


Figura 28 – Sorgenti sismogenetiche (da database DISS 3.3.0)

Nella seguente tabella si riportano i massimi valori di magnitudo momento attesi nelle sorgenti sismogenetiche più prossime al sito di progetto e la minima distanza relativa:

Sorgente sismogenetica	***Profondità [km]***	***Magnitudo momento Mw***	***Distanza minima dal sito [km]***
ITCS002: Western S-Alps external thrust	6÷13	6.8	36.5
ITCS009: Busseto - Cavriago	2÷8	6.8	84.2
ITCS010: Western S-Alps internal thrust	5÷12	6.9	41.8
ITCS018: Rivanazzano - Stradella	2÷8	6.8	25.6
ITCS044: Portalbera - Cremona	2÷7	6.7	24.4
ITCS045: San Giorgio Piacentino – Fornovo di Taro	2÷8	7.2	64.2
ITCS048: Giudicarie	5÷12	6.8	97.9
ITCS072: Capriano - Castenedolo back-thrust	1÷6	6.3	62.6
ITCS112: Piadena	2.5÷6	6.1	94.9
ITCS113: Sirmione	2÷7	6.5	102.0
ITCS114: Solferino	3÷8	6.4	115.9
ITCS115: Western S-Alps external thrust shallow-west	2÷6	6.2	22.3
ITCS116: Western S-Alps external thrust shallow-east	2.5÷5.5	5.9	65.5
ITCS179: Western Monferrato	1÷8	6.4	46.7
ITCS180: Eastern Monferrato	1÷8	6.4	41.2
ITIS069: Salò	6.5÷9	5.7	112.2
ITIS104: Romanengo	2.5÷5.8	5.7	51.7

Tabella 4 – Sorgenti sismogenetiche (da database DISS 3.3.0)

Come mostrato più sopra il sito di progetto non ricade all'interno di zone sismogenetiche riconosciute, risultando prossimo alle sorgenti composite ITCS018, ITCS044 e ITCS115 grossomodo equidistanti ed ubicate a distanze comprese tra 22 e 26 km.
La sorgente sismogenetica ITCS018 comprende l'area compresa tra poco a sud-ovest della città di Pavia (a nord) e le pendici dell'Appennino settentrionale a sud. La sorgente sismogenetica ITCS044 comprende l'area compresa tra la città di Pavia ad ovest e la città di Cremona ad est, tra le valli del Ticino e dell'Adda.
Entrambe le sorgenti appartengono al fronte esterno del thrust appenninico settentrionale, costituito da un sistema di faglie a vergenza da settentrionale a nord-occidentale poste all'estremità nord-occidentale della catena appenninica settentrionale.
I cataloghi storici e strumentali relativi alla sorgente sismogenetica ITCS018 evidenziano l'assenza di sismicità significativa, con l'eccezione del terremoto del 09/10/1828 che colpì la Valle dello Staffora, al limite sudoccidentale della sorgente. Per la sorgente sismogenetica ITCS044 i dati disponibili evidenziano una sporadica attività sismica di entità intermedia, con valori di Magnitudo-momento M_w compresi tra 4.5 e 5.0, con le eccezioni dei terremoti del 28/02/1276 e del 15/05/1951 che colpirono l'area del lodigiano con magnitudo momento all'epicentro rispettivamente pari a 5.1 e 5.2.
Nel complesso le sorgenti ITCS018 e ITCS044 costituiscono l'arco attivo occidentale in cui il fronte esterno dei thrust sudalpini sudvergenti e di quelli appenninici nordvergenti si avvicinano, raggiungendo la minima distanza relativa poco ad est del meridiano di Pavia, responsabile dell'attività sismica di moderata entità che caratterizza l'area e del suo potenziale sismogenetico.
La sorgente ITCS115 appartiene al fronte esterno del sistema di thrust sudvergenti sepolti al di sotto dei sedimenti della pianura padana. La sorgente comprende la faglia responsabile dell'evento sismico che interessò la Valle dell'Oglio il 12/05/1802 con magnitudo momento all'epicentro Mw pari a 5.9.
I cataloghi sismici evidenziano per l'area esaminata una modesta attività sismica, con l'eccezione del già citto evento del 1802.
L'assetto strutturale della zona è mostrato nella sezione tracciata lungo la valle del Ticino, circa 10 km a sudovest del sito di progetto, e nello schema strutturale di seguito mostrati.

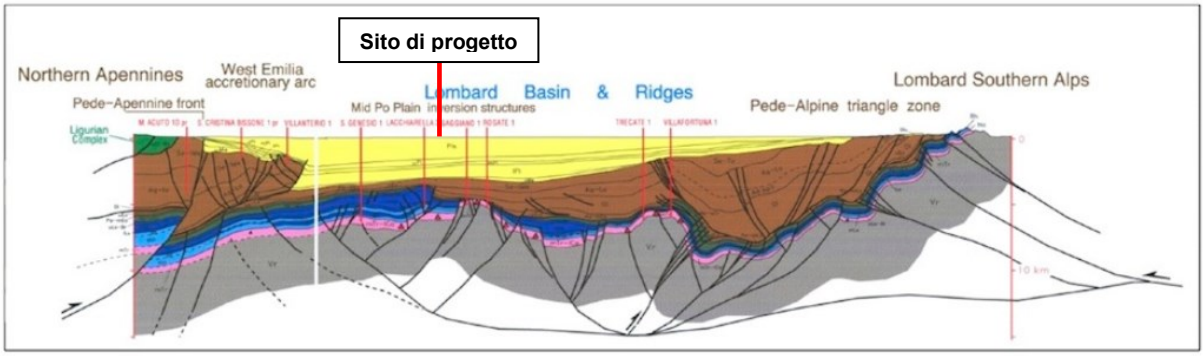


Figura 29 – Sezione strutturale (da Fantoni & Franciosi, 2009)

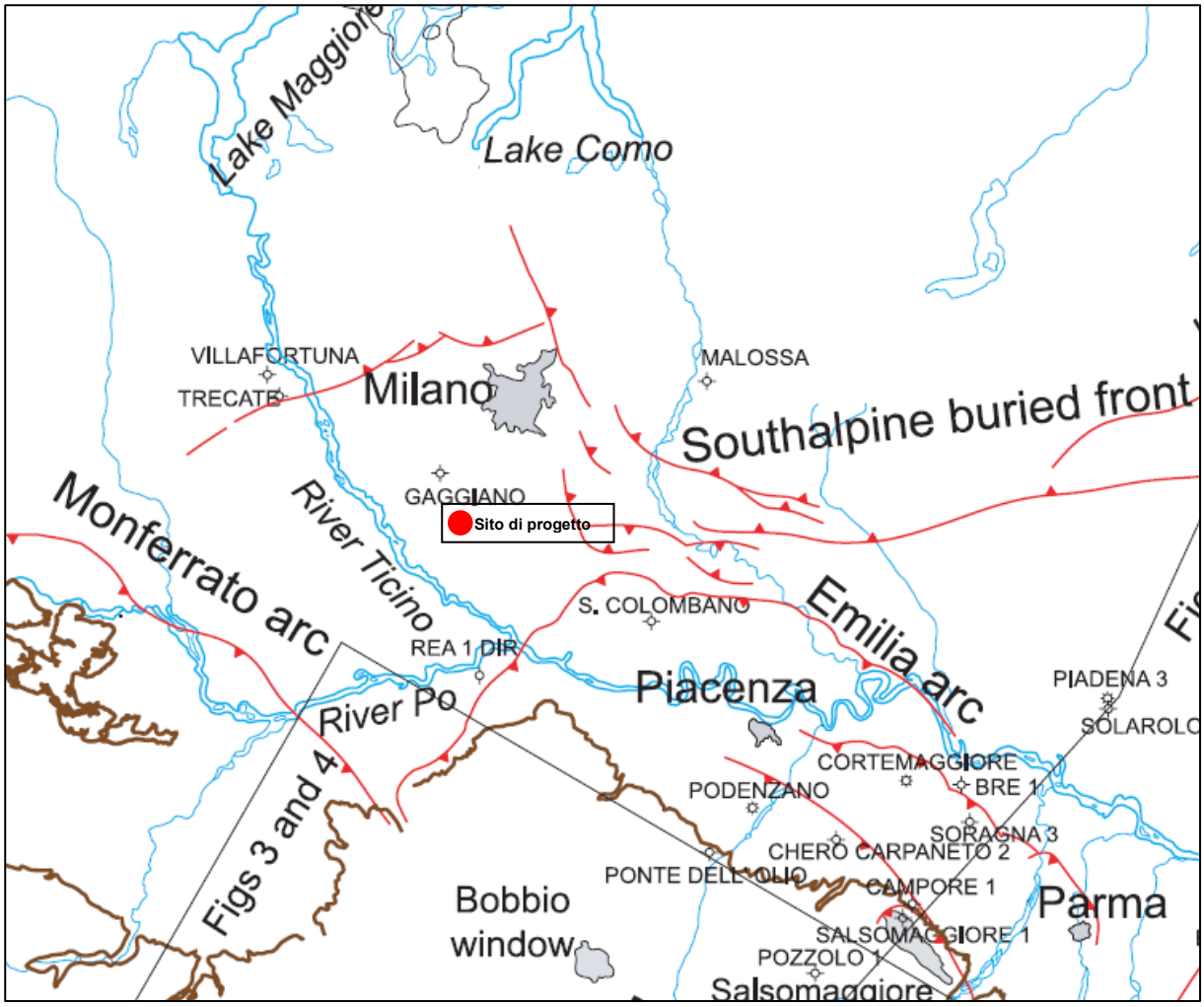


Figura 30 – Schema strutturale (da Picotti et. al., 2007)

9.4 Faglie capaci

Il progetto ITHACA (*ITaly HAzards from CApable faults*) - *Catalogo delle faglie capaci in Italia* - adotta la seguente definizione di **faglia capace**, che tiene conto delle definizioni riportate nelle guide tecniche IAEA, redatte per la caratterizzazione di siti destinati ad ospitare impianti ad alto rischio e del contesto geodinamico italiano:

- *Una faglia è definita capace quando ritenuta in grado di produrre, entro un intervallo di tempo di interesse per la società, una deformazione/dislocazione della superficie del terreno, e/o in prossimità di essa.*
- *La deformazione attesa può essere sia una dislocazione ben definita lungo un piano di rottura (fault displacement/offset) che una deformazione distribuita (warping).*
- *La riattivazione attesa viene definita in funzione del regime tettonico in atto, rispetto al quale deve essere compatibile. Elementi secondari possono però mostrare rotture "anomale", ad esempio movimenti compressivi in un ambiente distensivo, a causa di geometrie locali delle strutture riattivate.*

Le faglie capaci, come definite sopra, possono determinare un significativo pericolo di danneggiamento di strutture antropiche.

L'età dell'ultimo evento di attivazione di una faglia (*last activity*) è uno degli elementi discriminanti nella valutazione della "*capacità*" della struttura. L'analisi considera intervalli temporali di osservazione diversi, in funzione dell'ambiente tettonico (IAEA, 2010) e dei tassi di deformazione:

- **Interplacca** (margini di placca)

1) < 125 ka (Pleistocene Superiore) - Faglia capace
2) 125 ka ≤ ultimo movimento accertato ≤ 2,58 Ma - Faglia da investigare con indagini appropriate

- **Intraplacca** (aree cratoniche)

1) ≤ 780 ka (Pleistocene medio) - Faglia capace
2) Quaternario (2.58 Ma) - Faglia da indagare

Le definizioni sopra riportate considerano diverse finestre temporali a seconda che l'area di indagine sia in zona Interplacca o Intraplacca. L'intervallo temporale più ampio, e quindi più cautelativo, previsto per le zone Intraplacca (movimenti entro il Pleistocene medio) è applicabile, in Italia, al solo settore sardo, ritenuto un'area intraplacca (microcontinente), sebbene sia bordato da bacini in estensione (Bacini Balearico e Tirrenico) e quindi sia prossimo ad una situazione di interplacca.

Quindi, rispetto alle passate versioni di ITHACA, è stata introdotta la distinzione tra ***faglia capace*** e ***faglia quaternaria da indagare***:

1. **faglia capace**: faglia che sicuramente ha causato deformazione in superficie o in prossimità di essa, nell'intervallo Pleistocene superiore - Presente;
2. **faglia quaternaria da indagare**: faglia che ha causato deformazione in superficie o in prossimità di essa nel corso del Quaternario anteriormente al Pleistocene superiore (Pleistocene medio per le aree cratoniche), per la quale non si può escludere a priori una riattivazione all'interno del contesto geodinamico attuale in assenza di ulteriori indagini specifiche.

Si evidenzia che il nel Catalogo ITHACA l'intervallo considerato per le strutture capaci (< 125 ka *sensu* IAEA, 2010 e 2015) è più esteso di quello (40 ka) considerato negli *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica* (Dipartimento Protezione Civile, 2008) redatti dal Dipartimento di Protezione Civile (DPC) e poi nelle *Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci* (FAC).

La presenza di faglie capaci nel territorio oggetto di studio è stata verificata consultando il catalogo delle faglie capaci ITHACA; il data base del Progetto ITHACA, raccoglie tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali.

Nella seguente figura si riporta uno stralcio planimetrico con la localizzazione delle faglie capaci in relazione all'area di intervento, rappresentata con circolo rosso, che evidenzia l'assenza di interferenze con le strutture sismiche attive note.

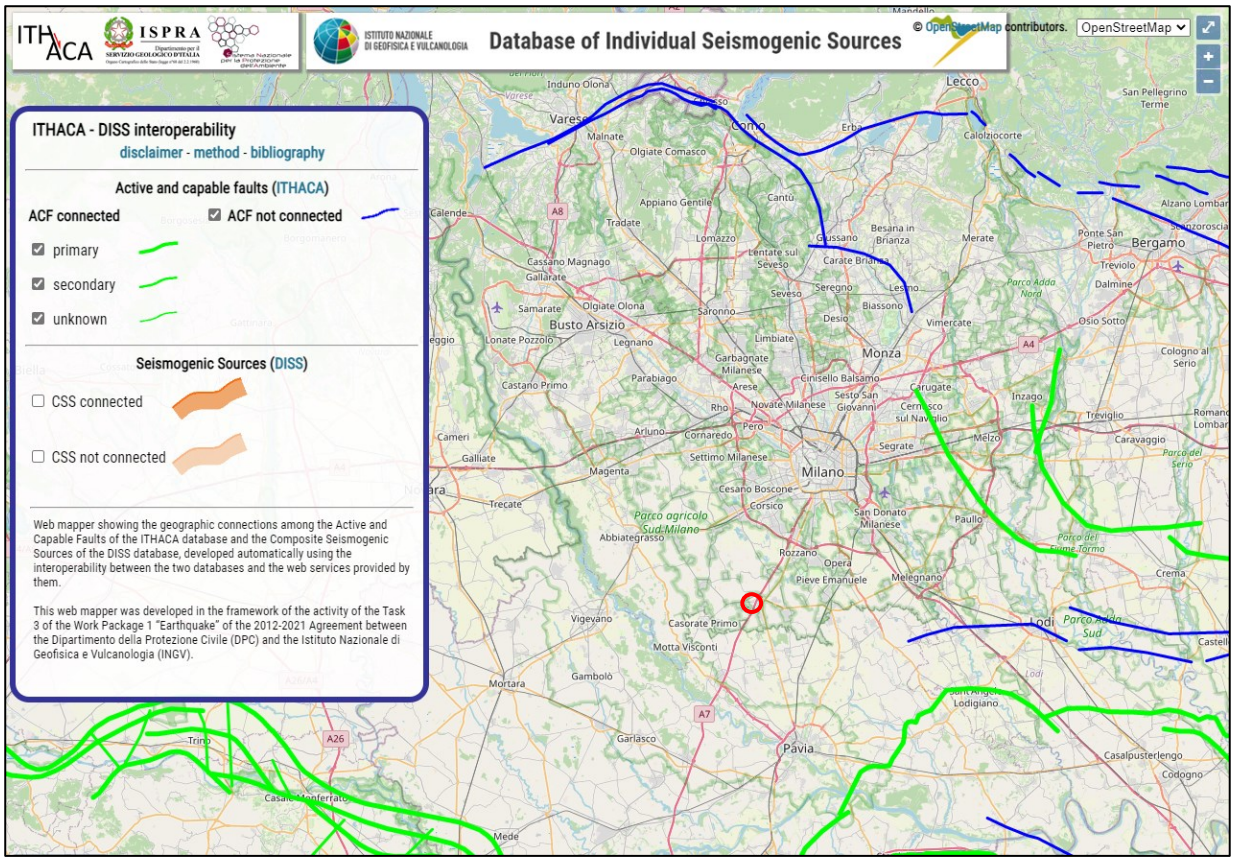

ITHACA
ISPRA
ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA
Database of Individual Seismogenic Sources
ITHACA - DISS interoperability
disclaimer - method - bibliography
Active and capable faults (ITHACA)
ACF connected
ACF not connected
primary
secondary
unknown
Seismogenic Sources (DISS)
CSS connected
CSS not connected
Web mapper showing the geographic connections among the Active and Capable Faults of the ITHACA database and the Composite Seismogenic Sources of the DISS database, developed automatically using the interoperability between the two databases and the web services provided by them.
This web mapper was developed in the framework of the activity of the Task 3 of the Work Package 1 "Earthquake" of the 2012-2021 Agreement between the Dipartimento della Protezione Civile (DPC) and the Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).
Milano
Monza
Bergamo
Lecco
Pavia
Lodi

Figura 31 - Localizzazione faglie capaci "Progetto ITHACA"

9.5 Classificazione sismica

9.5.1 Riferimenti normativi nazionali

La pericolosità sismica è lo strumento di previsione delle azioni sismiche attese in un certo sito su base probabilistica ed è funzione delle caratteristiche di sismicità regionali e del potenziale sismogenetico delle sorgenti sismiche; la sua valutazione deriva quindi dai dati sismologici disponibili e porta alla valutazione del rischio sismico di un sito in termini di danni attesi a cose e persone come prodotto degli effetti di un evento sismico.
La pericolosità sismica valutata all'interno di un sito deve essere stimata come l'accelerazione orizzontale massima al suolo (scuotimento) in un dato periodo di tempo, definendo i requisiti progettuali antisismici per le nuove costruzioni nel sito stesso.
La mappatura della pericolosità sismica del territorio italiano ha permesso di stilare una classificazione sismica dello stesso secondo le direttive promulgate dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri il 23 marzo 2003 – Ordinanza n. 3274 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*", con la quale sono stati approvati i "Criteri per l'individuazione delle zone sismiche – individuazione, formazione ed aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" (allegato 1) e le connesse norme tecniche per fondazioni e muri di sostegno, edifici e ponti (allegati 2, 3 e 4).
In data 11 maggio 2006 è stata pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale l'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3519, con la quale sono stati approvati i "*Criteri per l'individuazione delle zone sismiche e la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*" (Allegato 1.A) e la Mappa di pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale (Allegato 1.B) definiti nel "*Progetto INGV-DPC S1 (2006). Proseguimento della assistenza al DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi*". I criteri sono stati successivamente aggiornati, al fine di armonizzarne il testo con la revisione delle Norme Tecniche per le costruzioni e sono stati approvati con parere favorevole dell'Assemblea del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici del 27 luglio 2007, voto n. 36.
Le mappe di pericolosità sismica in riferimento all'Ordinanza n. 3519, per il territorio italiano e per la regione Lombardia, sono illustrate nella *Figura 32* e nella *Figura 33*.

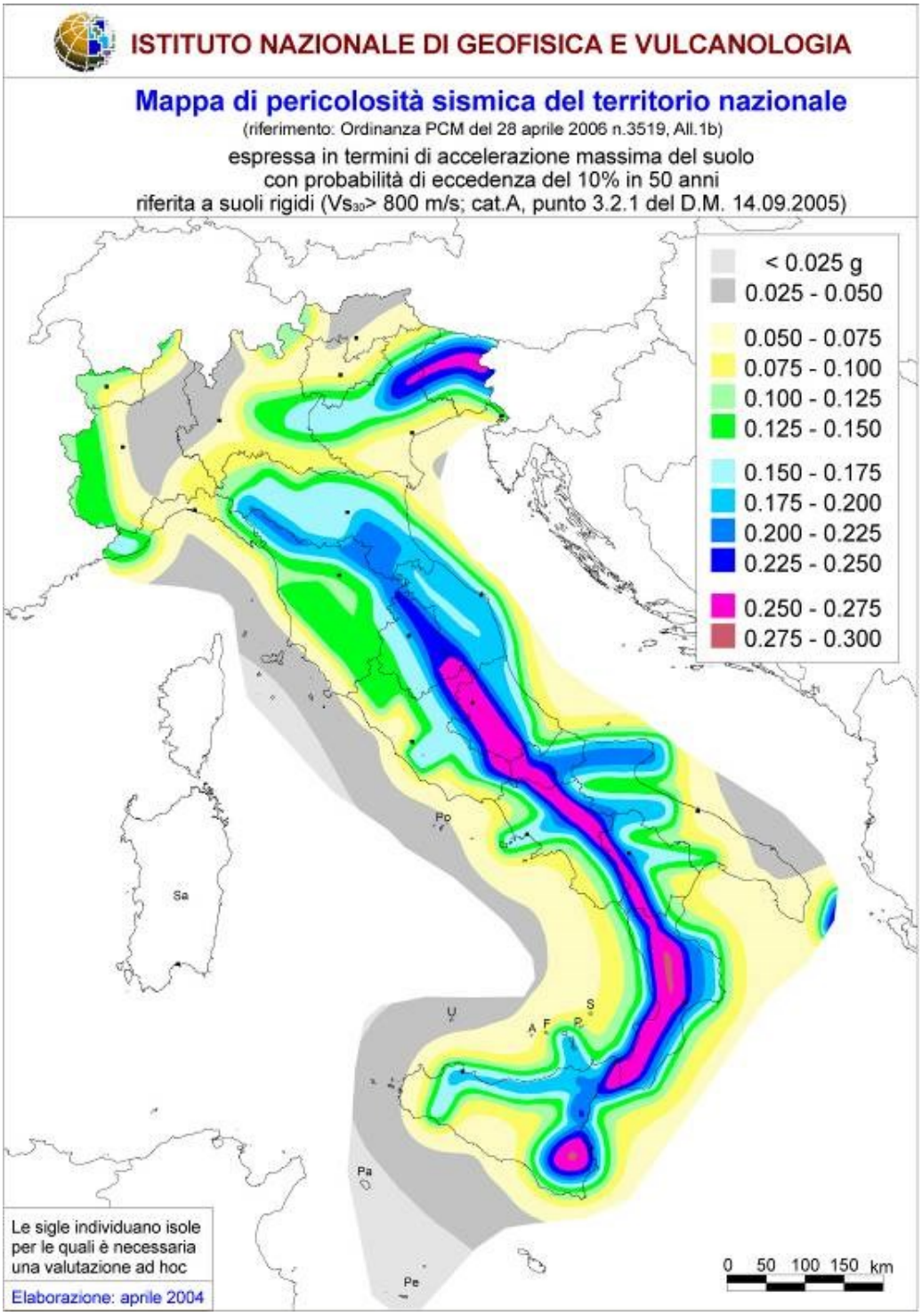

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA
Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale
(riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b)
espressa in termini di accelerazione massima del suolo
con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni
riferita a suoli rigidi (Vs30> 800 m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)
< 0.025 g
0.025 - 0.050
0.050 - 0.075
0.075 - 0.100
0.100 - 0.125
0.125 - 0.150
0.150 - 0.175
0.175 - 0.200
0.200 - 0.225
0.225 - 0.250
0.250 - 0.275
0.275 - 0.300
Le sigle individuano isole per le quali è necessaria una valutazione ad hoc
Elaborazione: aprile 2004
0 50 100 150 km

Figura 32 – Mappa di pericolosità sismica OPCM n. 3519

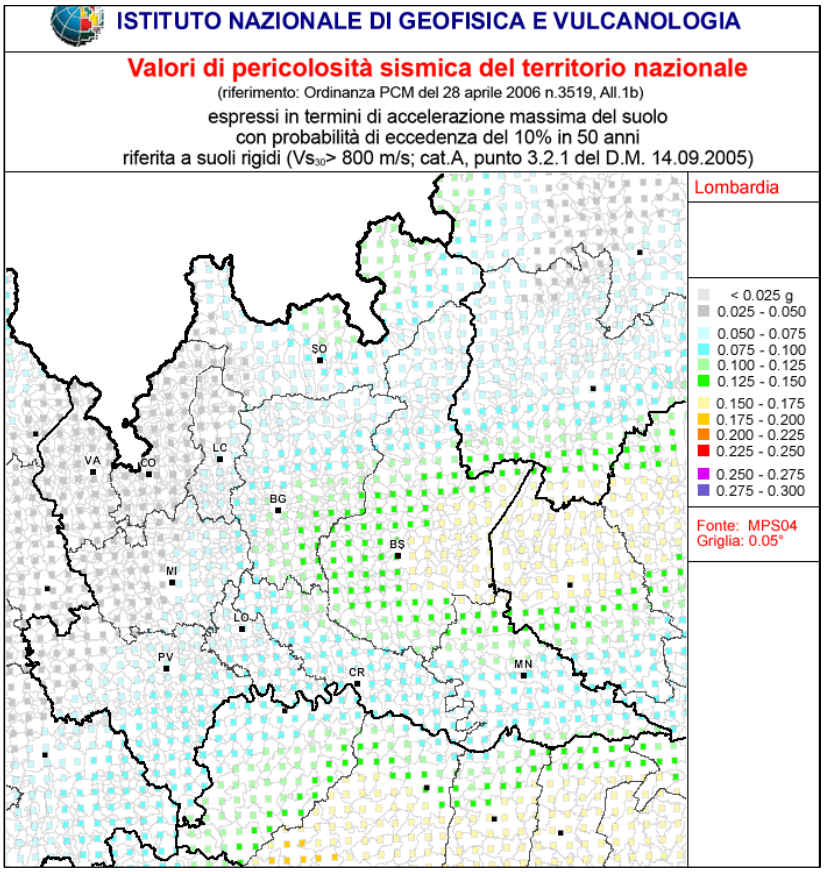


Figura 33 - Mappa di pericolosità sismica OPCM. 3519, Lombardia

Con la pubblicazione delle "*Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni*" (D.M. 14 gennaio 2008) si sono definiti i criteri definitivi per la classificazione sismica del territorio nazionale in recepimento del Voto n. 36 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici del 27 luglio 2007 ("*Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale*"); tali criteri prevedono la valutazione dell'azione sismica non più legata ad una zonazione sismica ma **definita puntualmente al variare del sito e del periodo di ritorno considerati, in termini sia di accelerazione del suolo a_g sia di forma dello spettro di risposta**.

Secondo il Voto n. 36, "*l'azione sismica è quindi valutata sito per sito e costruzione per costruzione e non riferendosi ad una zona sismica territorialmente coincidente con più entità amministrative, ad un'unica forma spettrale e ad un periodo di ritorno prefissato ed uguale per tutte le costruzioni come avveniva in precedenza*".

L'Allegato A al D.M. 14 gennaio 2008 "*Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni*" prevede che l'azione sismica venga valutata in fase di progettazione a partire da una "pericolosità sismica di base" in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

La pericolosità sismica di un determinato sito deve essere descritta con sufficiente dettaglio sia in termini geografici che temporali, fornendo, di conseguenza i risultati del suddetto studio:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima $\mathbf{a_g}$ e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ($\mathbf{F_o}$ – valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale, $\mathbf{T^*_C}$ – periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale);
- in corrispondenza dei punti di un reticolo di riferimento (*reticolo di riferimento*) i cui nodi non siano distanti più di 10 km;
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno T_R ricadenti in un *intervallo di riferimento* compreso almeno tra 30 e 2475 anni.

L'azione sismica così individuata deve essere variata in funzione delle modifiche apportate dalle condizioni sito-specifiche (caratteristiche litologiche e morfologiche); le variazioni apportate caratterizzano la **risposta sismica locale**.

L'Allegato B alle citate norme fornisce le tabelle contenenti i valori dei parametri $\mathbf{a_g}$, $\mathbf{F_O}$ e $\mathbf{T^*_C}$ relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento, consultabile sul sito http://esse1.mi.ingv.it/.

Nelle nuove NTC18 (Decreto ministeriale del 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»”, pubblicato su Gazzetta Ufficiale il 20 febbraio 2018, con entrata in vigore dal 22 marzo 2018), **le azioni sismiche vengono determinate facendo riferimento ai valori di ag, F_0 e T^*_C riportati nell’allegato B delle NTC08.**

9.5.2 Riferimenti normativi regionali

All'interno del percorso normativo nazionale, con Delibera di Giunta n. 2129 dell'11 luglio 2014, la Regione Lombardia ha provveduto alla **riclassificazione sismica del territorio lombardo** (***Figura 34***).

Secondo la nuova classificazione sismica dei comuni della Regione Lombardia, entrata in vigore il **10 aprile 2016 (**d.g.r. n. 4144 dell' 8 ottobre 2015), l’ambito di progetto risulta classificato in **Zona Sismica 3**.

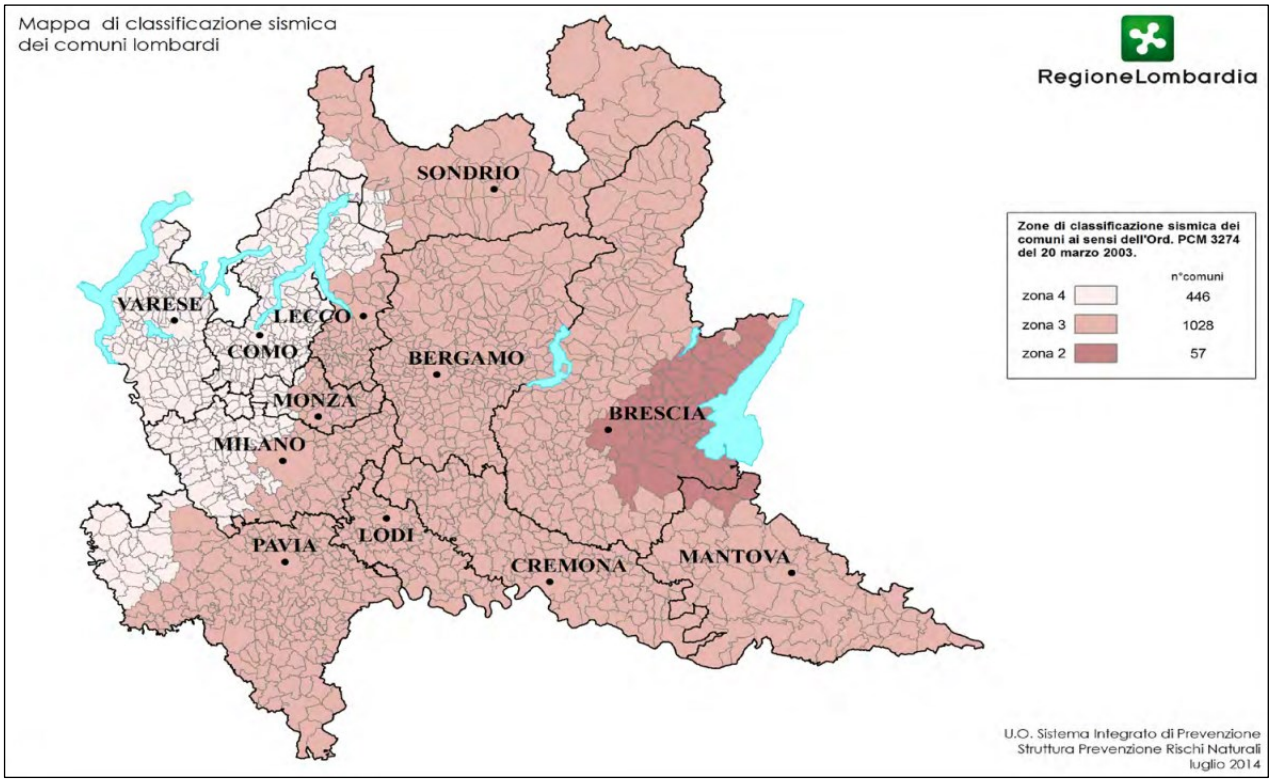


Figura 34 - Classificazione sismica dei comuni lombardi

Con la pubblicazione sul B.U.R.L. del 19 gennaio 2006, 3° supplemento straordinario, della d.g.r. n. 8/1566 del 22 dicembre 2005 “*Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell’art. 57, comma 1, della Legge Regionale 11 marzo 2005 n. 12*”, la Regione Lombardia ha definito le linee guida e le procedure operative per la valutazione degli effetti sismici di sito a cui uniformarsi nella definizione del rischio sismico locale. Tali criteri sono successivamente stati aggiornati con d.g.r. n. 8/7374 del 28 maggio 2008 e d.g.r. n. IX/2616 del 30 novembre 2011 “*Aggiornamento dei Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell’art. 57, comma 1, della Legge Regionale 11 marzo 2005 n. 12 approvati con D.G.R. 22/05 n. 8/1566 e successivamente modificati con D.G.R. 28 maggio 2008, n. 8/7374*” pubblicata sul B.U.R.L. del 15 dicembre 2011, serie ordinario n. 50, a seguito delle avvenute modifiche in materia di norme tecniche sulle costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008).

Secondo le direttive regionali, l’analisi della sismicità del territorio in termini di valutazione dell’amplificazione sismica locale deve seguire le metodologie dell’Allegato 5 alla d.g.r. n. IX/2616/2011, che prevedono **tre diversi livelli di approfondimento in funzione della zona sismica di appartenenza** (1° livello, 2° livello, 3° livello).

Nella tabella seguente, secondo quanto indicato al punto 1.4.4 della d.g.r. n. IX/2616/2011, viene sintetizzato l'ambito di applicazione dei vari livelli di approfondimento in funzione della zona sismica di appartenenza.

	Livelli di approfondimento e fasi di applicazione		
	1^ livello fase pianificatoria	2^ livello fase pianificatoria	3^ livello fase progettuale
Zona sismica 2-3	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	- Nelle aree indagate con il 2^ livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1e Z2.
Zona sismica 4	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03)	- Nelle aree indagate con il 2^ livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1 e Z2 per edifici strategici e rilevanti.

PSL = Pericolosità Sismica Locale

Tabella 5 – Livelli di approfondimento sismico

Nel vigente PGT del comune di Noviglio l'approfondimento sismico di I livello ha evidenziato la presenza di una **zona PSL Z2** in corrispondenza dell'area di intervento, e si procederà pertanto ad approfondimento sismico di III livello in questa sede sulla base di indagini sismiche sitospecifiche come illustrato al paragrafo 11 del presente documento. Inoltre poiché la vigente DGR 2616/2011 ascrive tutti gli ambiti di pianura allo scenario **PSL Z4a**, suscettibile di amplificazioni connesse a contrasti di impedenza sismica si procederà agli approfondimenti di II livello previsti dalla normative vigente per lo specifico scenario.

10 Section L: Risultati delle indagini

Le perforazioni di sondaggio ad oggi realizzate, spinte alla profondità massima di 40 m da p.c. hanno evidenziato la presenza di *sabbie debolmente ghiaiose e ghiaie fini* nei primi 4÷6 m di profondità, seguiti da terreni a prevalente granulometria *sabbiosa* e *sabbioso limosa* con sottili intercalazioni di orizzonti di *limi sabbiosi*.

L'aspetto tipico dei terreni attraversati è mostrato nelle seguenti immagini.

Foto 1 – Depositi sabbioso-ghiaiosi (S2-2022 – 0÷5 m)

Foto 2 – Depositi sabbioso-limosi (S2-2022 – 15÷20 m)

I terreni indagati sono caratterizzati da un modesto grado di addensamento nei primi 4÷6 m di profondità, localmente fino a 8 m (CPT 3 e CPT 4 – 2022) successivamente crescente in funzione della profondità, come testimoniato dall'andamento dei valori di resistenza alla penetrazione standard N_{SPT} e di resistenza alla penetrazione statica q_c di seguito mostrati.

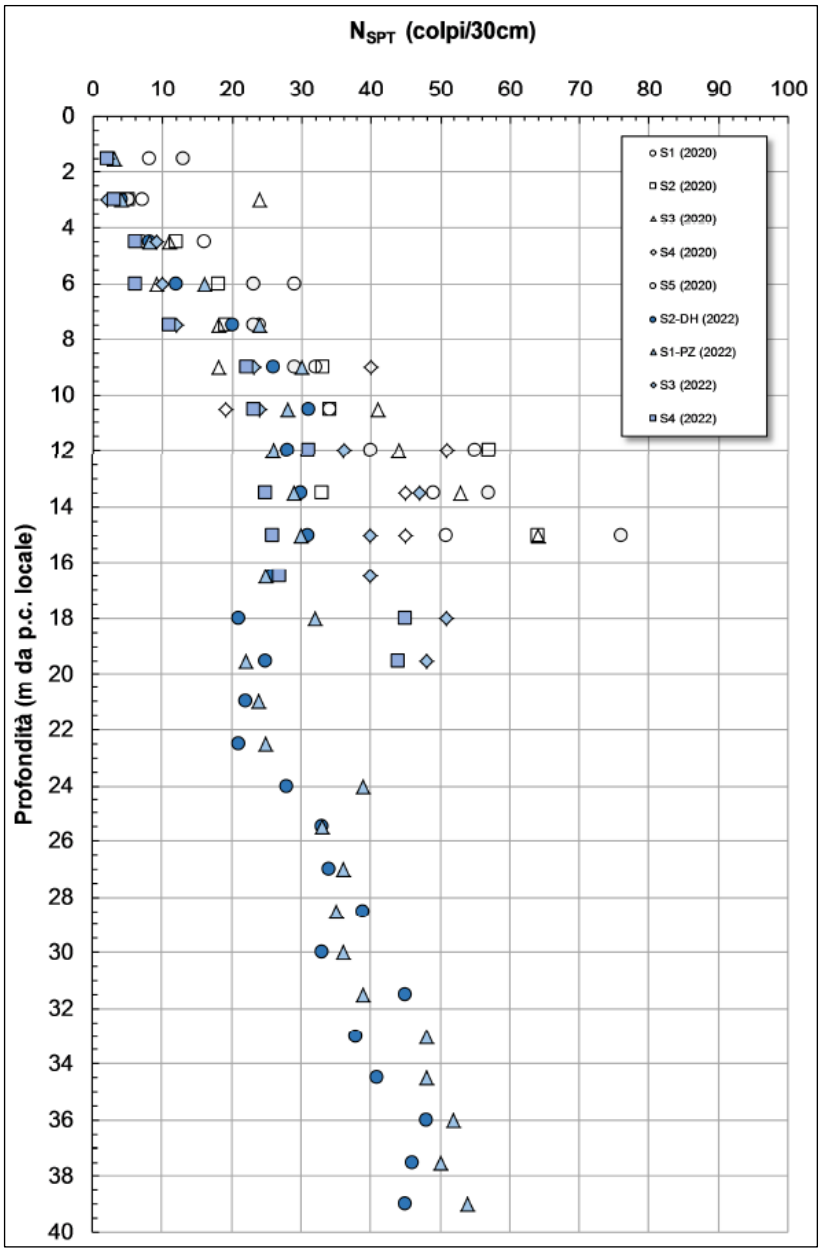


Figura 35 – resistenze penetrometriche dinamiche

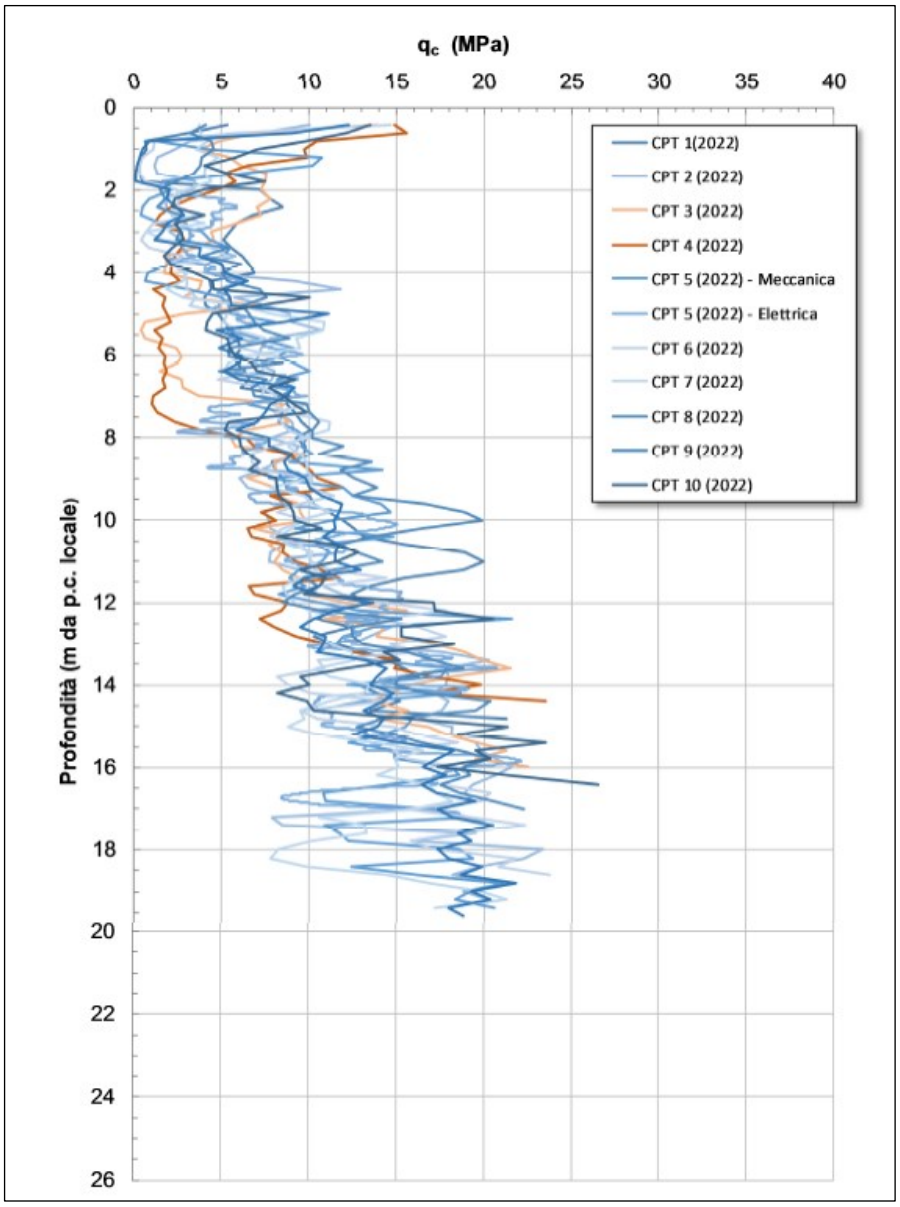


Figura 36 – resistenze penetrometriche statiche

Di seguito, in Figura 37 – laboratorio 2020 - fusi *granulometrici sulla base delle prove effettuate su 5* campioni rimaneggiatie in Tabella 6 – laboratorio 2022 – sintesi dei risultati sulla caratterizzazione dei terrenisono riportati i fusi granulometrici caratteristici riferiti alle analisi effettuate nel 2020 su 5 campioni rimaneggiati, e una sintesi sulla caratterizzazione dei terreni di fondazione risultata dai 33 campioni rimaneggiati analizzati nel 2022.

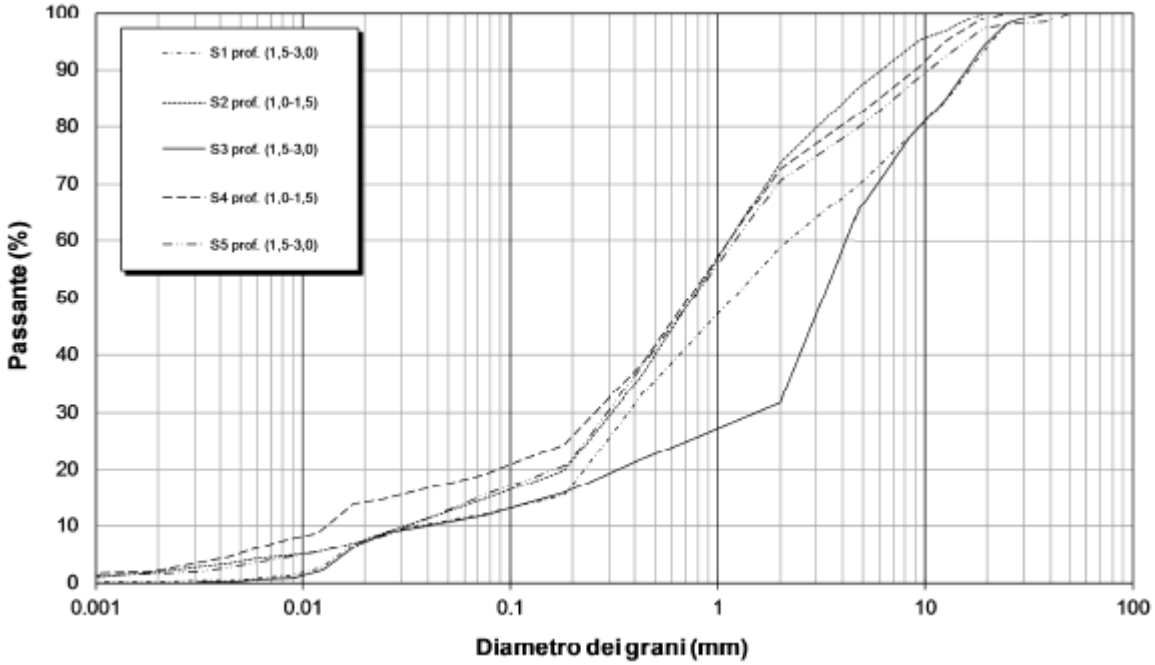


Figura 37 – laboratorio 2020 - fusi granulometrici sulla base delle prove effettuate su 5 campioni rimaneggiati

Z (m da p.c.)	SON.	CAMP.	CLASS. ASTM	LL (%)	LP (%)	IP (%)	CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE						
							GHIAIA (%)	SABBIA (%)	LIMO (%)	ARGILLA (%)	CF (%)	Cc (-)	Cu (-)
MATERIALI PRIMO METRO													
-0.9	S1	A	SC, SM, SC-SM				11	57	24	8	32		
-0.9	S2	A	SC, SM, SC-SM				25	64	20	7	27		
SABBIA E GHIAIA SUPERFICIALE													
-2.2	S3	A	SW, SC	29	18	11	44	46	5	4	9	76.0	0.5
-2.2	S4	A	SW, SC	27	19	8	36	55	7	3	10	41.0	0.6
-3.2	S!	B	SW, SM, SW-SC				29	63	6	2	8	11.0	1.0
-2.5	S2	B	SW, SM, SW-SC				36	56	6	6	12	23.0	0.9
-4.3	S2	C	SW, SM, SW-SC				45	48	5	2	7	30.5	1.3
SABBIA													
-4.7	S3	B	SC	30	22	8	0	61	24	15	39		
-6.5	S2	D	SM	19			3	82	10	5	15		
-7.6	S1	D	SM	31	25	6	0	67	31	2	33		
-8.7	S4	C	SC, SM, SC-SM				0	81	14	5	19		
-9.1	S2	E	SC-SM	27	22	5	0	57	27	16	43		
-9.3	S3	D	SC, SM, SC-SM				0	88	9	3	12		
-9.6	S1	E	SM	22			0	87	10	3	13		
-12.2	S3	E	SC, SM, SC-SM				0	69	23	8	31		
-12.3	S4	D	SC, SM, SC-SM				0	69	23	8	31		
-13.5	S2	F	SC, SM, SC-SM				0	73	20	7	27		
-13.7	S1	F	SC, SM, SC-SM				0	80	15	5	20		
-17.2	S3	F	SC, SM, SC-SM				0	69	23	8	31		
-18.2	S1	G	SC, SM, SC-SM				0	82	13	5	18		
-19.1	S2	G	SC, SM, SC-SM				0	92	6	2	8		
-19.3	S4	E	SC, SM, SC-SM				0	69	23	8	31		
-22.2	S1	H	SM	18			0	74	19	7	26		
-28.3	S1	I	SC, SM, SC-SM				13	80	5	2	7		
-32.1	S2	L	SC, SM, SC-SM				0	90	7	3	10		
-33.3	S1	L	SC, SM, SC-SM				3	71	19	7	26		
-38.1	S2	M	SM	33	25	8	0	83	14	3	17		
LIVELI LIMOSI													
-4.1	S4	B	ML, OL	32	24	8	0	6	70	24	94		
-5.1	S2	C	CL, ML	25	19	6	0	47	37	16	53		
-6.2	S3	C	ML, OL	33	26	7	0	35	49	16	65		
-24.9	S2	H	ML, OL	39	29	10	0	2	53	45	98		
-26.1	S2	I	ML, OL	25	22	3	0	1	76	23	99		
-37.7	S1	M	ML, OL	39.0	32.0	7	0	33	54	13	67		

Tabella 6 – laboratorio 2022 – sintesi dei risultati sulla caratterizzazione dei terreni

Nella Tabella 7 sono sintetizzati i principali risultati ottenuti dall'analisi della stratigrafia dei pozzetti esplorativi. Si osserva che:

- lo spessore di vegetale (che dovrà essere asportato in fase di scotico dell'area) risulta compreso tra 20 e 30cm con un valore medio di circa 25cm.
- In vari pozzetti (circa il 50% di quelli eseguiti) a circa 80÷90cm di profondità è presente il tetto di un livello di limo da sabbioso ad argilloso di colore variabile tra il grigio ed il marrone scuro. Da un confronto con le stratigrafie dei sondaggi e con i risultati delle prove CPT è possibile prevedere che lo spessore di tale strato limoso sia limitato (ove presente) ad un massimo di circa 50÷100cm in corrispondenza della fascia di oscillazione della falda.

POZZETTO (-)	PROF. (m da p.c.)	SP.VEGETALE (m)	SP. SABBIA (m)	SP. LIMO (m)	NOTE
PE-01	1.00	0.20	0.60	> 0.40	Limo con sabbia da marrone a grigio azzurro
PE-02	1.10	0.20	0.90		
PE-03	1.30	0.30	1.00		
PE-04	1.10	0.20	0.90		
PE-05	1.00	0.20	0.80		
PE-06	1.00	0.20	0.80		
PE-07	1.00	0.20	0.80		
PE-08	1.10	0.20	0.90		
PE-09	1.00	0.20	0.70	> 0.10	Limo sabbioso (sabia fine) marrone/grigio
PE-10	1.00	0.20	0.70	> 0.10	Limo sabbioso (sabia fine) marrone/grigio
PE-11	1.00	0.20	0.80		
PE-12	1.10	0.20	0.70	> 0.20	Limo sabbioso (sabia fine) marrone/grigio
PE-13	1.00	0.20	0.70	> 0.10	Limo sabbioso (sabia fine) marrone/grigio
PE-14	1.00	0.20	0.60	> 0.20	Limo argilloso sabbioso (sabia fine) marrone/grigio
PE-15	1.00	0.20	0.80		
PE-16	1.00	0.20	0.70	> 0.10	Limo sabbioso (sabia fine) grigio azzurro
PE-17	1.00	0.20	0.40	> 0.40	Limo sabbioso (sabia fine) argilloso grigio azzurro
PE-18	1.00	0.30	0.40	> 0.30	Limo con sabia fine deb. argilloso grigio scuro
PE-19	1.20	0.30	0.50	> 0.40	Limo sabbioso (sabia fine) deb. argilloso marrone scuro
PE-20	1.00	0.20	0.80		
	MEDIA:	0.22			

Tabella 7 – sintesi della stratigrafia ricavata dai pozzetti esplorativi

Le prove di carico su piastra hanno restituito valori di modulo elastico di primo carico molto bassi (mediamente circa 12 MPa) in quanto il terreno non è stato compattato prima dell'esecuzione della prova mentre il modulo in ricarico risulta mediamente prossimo a 60 MPa ciò che ne denota l'idoneità come fondazione. Una sintesi dei moduli di piastra di primo carico (M_{d1}) e di ricarico (M_{d2}) e dei moduli elastici in carico (E) e ricarico (E_{ur}) è mostrata in Tabella 8.

POZZETTO (-)	PROF. (m da p.c.)	M_{d1} (MPa)	M_{d2} (MPa)	v (-)	E (MPa)	E_{ur} (MPa)
PE-01	0.70	5.0	42.0	0.30	3.6	30.0
PE-02	0.65	4.8	62.5	0.30	3.4	44.6
PE-03	0.60	3.5	*214.2*	0.30	2.5	*153.0*
PE-04	0.65	3.8	76.9	0.30	2.7	54.9
PE-05	0.70	50.0	*142.8*	0.30	35.7	*102.0*
PE-06	0.70	26.5	78.9	0.30	18.9	56.4
PE-07	0.80	33.0	90.9	0.30	23.6	64.9
PE-08	0.70	47.6	88.2	0.30	34.0	63.0
PE-09	0.65	13.4	Anomalo	0.30	9.6	Anomalo
PE-10	0.70	19.5	Anomalo	0.30	13.9	Anomalo
PE-11	0.65	13.3	34.5	0.30	9.5	24.6
PE-12	0.65	13.0	28.6	0.30	9.3	20.4
PE-13	0.70	11.7	24.6	0.30	8.4	17.6
PE-14	0.65	17.0	37.5	0.30	12.1	26.8
PE-15	0.70	16.5	Anomalo	0.30	11.8	Anomalo
PE-16	0.70	25.2	Anomalo	0.30	18.0	Anomalo
PE-17	0.65	5.8	61.2	0.30	4.1	43.7
PE-18	0.70	6.7	41.6	0.30	4.8	29.7
PE-19	0.65	5.4	44.1	0.30	3.9	31.5
PE-20	0.70	7.5	62.5	0.30	5.4	44.6
		17.4	82.7		11.8	59.1

Tabella 8 – prove di carico su piastra – sintesi dei risultati in termini di moduli elastici

Le indagini sismiche disponibili evidenziano valori di velocità di propagazione delle onde di taglio V_S gradualmente crescenti in profondità e l'assenza di significativi contrasti di impedenza sismica come mostrato nella seguente figura.
Dal calcolo della Vs equivalente alla profondità di riferimento di 30 m, risulta una velocità di propagazione delle onde di taglio di 314 m/s.

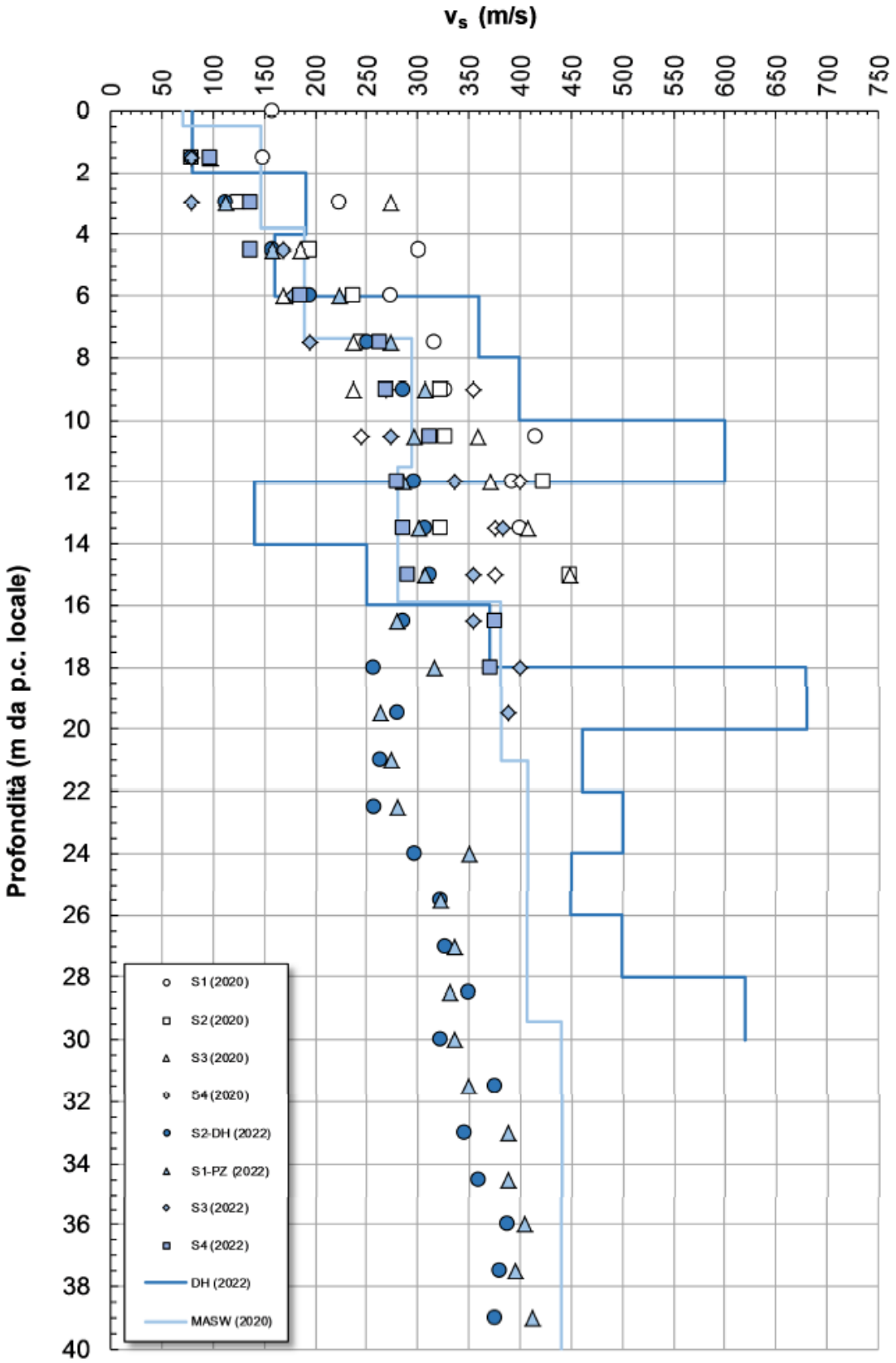


Figura 38 – velocità di propagazione delle onde di taglio da prova MASW e DH e valori medi delle velocità derivati dai risultati di SPT con la correzione proposta da Seed (1983)

Le prospezioni sismiche HVSR condotte confermano l'assenza di contrasti di impedenza sismica ed evidenziano frequenze proprie compatibili con elevate profondità del bedrock sismico. La frequenza caratteristica media del sito può essere assunta pari a $f_0 = 0.7 \pm 1.8$ Hz

HVSR	FREQUENZA DI SITO (Hz)	NOTE
HVSR01	0,691919	
HVSR02	8,11616	Prova non significativa per rumore di fondo
HVSR03	1,08586	
HVSR04	1,81818	
HVSR05	1,52525	
HVSR06	13,5354	Prova non significativa per rumore di fondo
HVSR07	13,5354	Prova non significativa per rumore di fondo
HVSR08	1,26768	
HVSR09	1,08586	
HVSR10	1,81818	

Tabella 9 – sintesi dei risultati delle prove HVSR

Le prove di pompaggio sono state effettuate su due coppie pozzo-piezometro, sia a portata costante che variabile, per un totale di 4 prove. Sulla base di tali prove sono stati definiti i parametri di trasmissività (T) e conducibilità idraulica (K).
I risultati sono riportati in Tabella 10, considerando il metodo di Cooper-Jacob per la determinazione della trasmissività dell'acquifero.

		Trasmissività T [m²/s]	Conducibilità Kv [m/s]	Conducibilità Kh [m/s]
Pozzo 1	portata costante	5,0E-04	2,2E-05	1,8E-04
PZ1	portata costante	3,1E-03	1,4E-04	1,6E-03
Pozzo 1	portata variabile	1,6E-04	7,0E-06	5,6E-05
PZ1	portata variabile	7,0E-04	3,1E-05	3,6E-04
Pozzo 2	portata costante	2,4E-04	1,1E-05	1,0E-04
PZ2	portata costante	1,2E-02	5,4E-04	4,2E-03
Pozzo 2	portata variabile	7,6E-05	3,4E-06	3,2E-05
PZ2	portata variabile	2,7E-03	1,2E-04	9,5E-04

Kv media [m/s]	1E-04
Kh media [m/s]	9E-04

Tabella 10 – sintesi dei risultati delle prove di pompaggio

Le prove infiltrometriche a doppio anello hanno restituito valori di conducibilità idraulica calcolata compresi tra i 2.03 x 10^{-5} m/s e 9.59 x 10^{-6} m/s, rispettivamente registrati nelle prove K1 e K2. La prova infiltrometrica K3 ha restituito una conducibilità idraulica calcolata di 1.21 x 10^{-5} m/s. Se ne deduce un *valore medio di riferimento* pari a:

$$1{,}00\text{x}10^{-5}\text{m/s} \leq k \leq 2{,}00\text{x}10^{-5}\text{m/s}$$

11 Section M: Approfondimenti sismici di II e III livello

Come descritto in precedenza l'ambito di progetto si ubica all'interno zone di Pericolosità Sismica Locale **Z4a** per la quale sono attesi fenomeni di amplificazione del segnale sismico connessi alla presenza di contrasti di impedenza sismica e **Z2** per la quale sono attesi fenomeni di liquefazione; in accordo alla normativa regionale è necessario, pertanto, procedere ad approfondimenti sismici di II e III livello come di seguito illustrato.

11.1 Analisi di risposta sismica locale di II livello

Ai fini della valutazione delle azioni simiche di progetto è necessario valutare le modifiche in frequenza ed ampiezza del segnale sismico di base agente al bedrock indotte da fenomeni di amplificazione stratigrafica e topografica sitospecifici.
Per la valutazione numerica degli effetti di amplificazione sismica sitospecifica la procedura di cui al punto 1.4.4 dell'Allegato B alla d.g.r. 30 novembre 2011 n. IX/2616 "*Sintesi delle procedure*", prevede l'applicazione di tre livelli di approfondimento sismico con grado di dettaglio crescente in funzione della zona sismica di appartenenza.
Ricadendo il comune di Noviglio in **zona sismica 3**, in fase pianificatoria il 1° livello è obbligatorio ed esteso a tutto il territorio comunale, mentre gli approfondimenti di 2° livello sono obbligatori per tutti gli edifici ricadenti in aree a pericolosità sismica locale PSL Z3 e Z4.
L'analisi di 2° livello prevede una caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi negli scenari PSL Z4, consentendo di verificare se l'analisi di risposta simica locale semplificata, basata sull'individuazione della categoria di sottosuolo ai sensi del punto 3.2.2 del D.M. 17/01/18, risulta sufficiente o insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale (Fattore di amplificazione F_a calcolato superiore a F_a di soglia comunale fornito da Regione Lombardia). Qualora a mezzo della procedura di 2° livello si verificasse l'inadeguatezza della procedura semplificata, in fase di progettazione, si dovrà procedere ad indagini ed approfondimenti di 3° livello o, in alternativa, si potrà utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore.
Il valore di F_a si riferisce agli intervalli di periodo tra 0.1÷0.5s (strutture basse, regolari e piuttosto rigide) e 0.5÷1.5s (strutture più alte e flessibili) in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio regionale.
La procedura per la verifica degli effetti litologici (punto 2.2.2 dell'Allegato 5 alla d.g.r. 30 novembre 2011 n. IX/2616 "*Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nei P.G.T.*") tramite l'impiego delle schede predisposte dalla Regione Lombardia, necessita della conoscenza della litologia prevalente dei materiali presenti in sito, della stratigrafia del sito e dell'andamento delle V_S con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s (ottenuta utilizzando metodi di indagine diretti ed indiretti, in grado di fornire un modello geologico e geofisico del sottosuolo attendibile) e dello spessore e velocità di ciascun strato.

11.1.1 Determinazione della categoria sismica di sottosuolo

Per la valutazione degli effetti di amplificazione stratigrafica è stata determinata la categoria sismica di sottosuolo in funzione del valore di $V_{S,eq}$ misurato in sito mediante l'indagine sismica MASW condotta nell'area.
La stratigrafia delle velocità di propagazione delle onde di taglio ottenuta mediante la prospezione sismica è mostrata nel seguente grafico

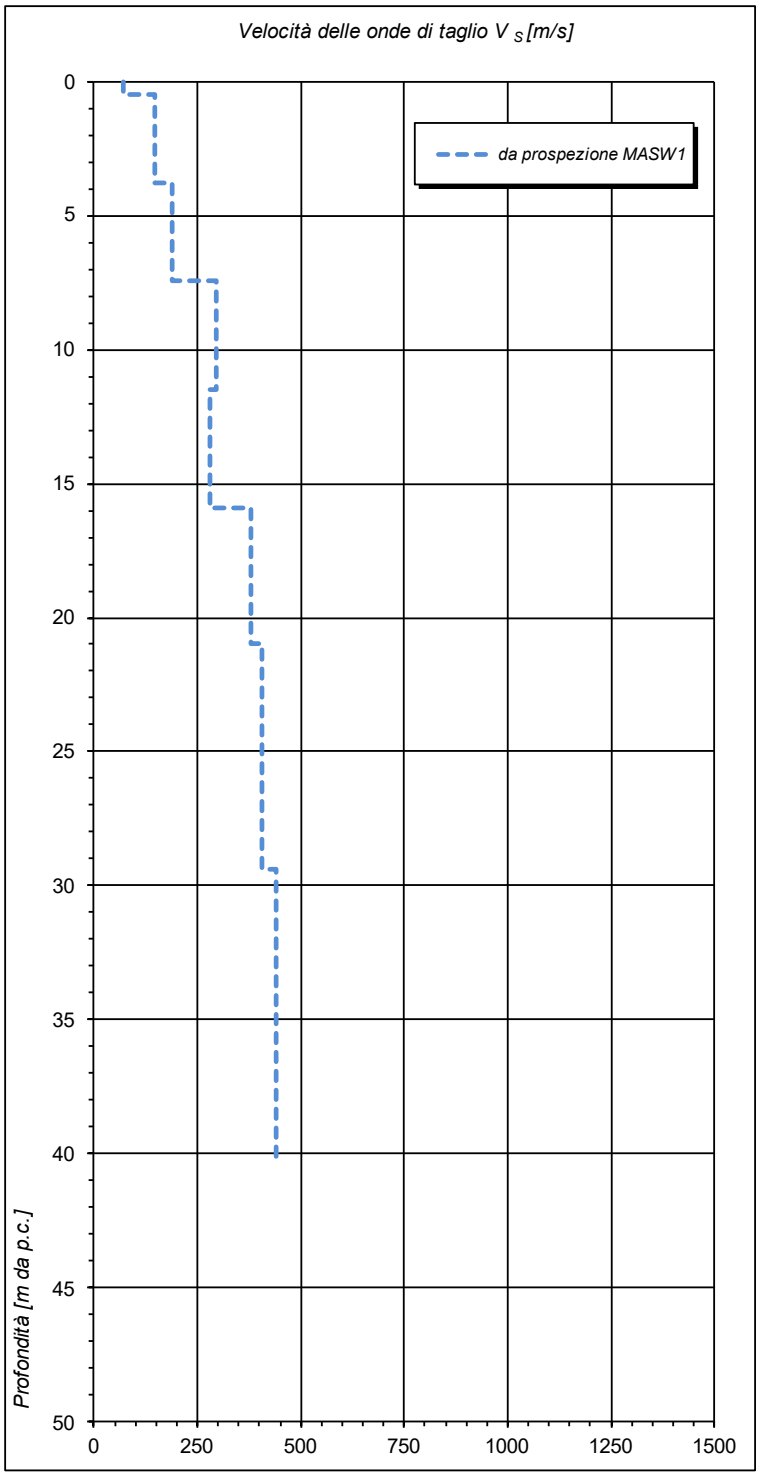


Figura 39 – Stratigrafia delle V_S

Sulla base della stratigrafia delle velocità di propagazione delle onde di taglio definita per l'area in esame è possibile definire un valore di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{S,eq}$ secondo la seguente espressione, in accordo al D.M. 17 gennaio 2018 "*Norme tecniche per le costruzioni*":

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

Dove ***H*** rappresenta la profondità del substrato sismico, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto addensato caratterizzata da valori di velocità di propagazione delle onde di taglio V_S non inferiori a 800 m/s e h_i e V_{Si} rappresentano rispettivamente lo spessore e la velocità di propagazione delle onde di taglio di ciascuno strato. Nel caso in cui la profondità del substrato ***H*** sia superiore a 30 m dal piano di riferimento (piano di posa delle fondazioni superficiali, testa dei pali di fondazione, testa di opere di sostegno di terreni naturali, piano di posa delle fondazioni di muri di sostegno di terrapieni) la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro V_{S30}, ottenuto ponendo H pari a 30 nella precedente espressione e considerando le velocità di propagazione dei diversi strati di terreno fino a tale profondità.

Nel caso in esame, assumendo una profondità si calcolo pari a 1.0 m dalla quota media di p.c.si ottiene;

Profondità di calcolo [m da p.c.]	*$V_{S,eq}$ [m/s]*	*Categoria sismica*
0.0	*265*	*C*
1.0	*286*	*C*

Tabella 11 – Valori di $V_{S,eq}$

Sulla base dei risultati ottenuti è possibile attribuire i terreni di fondazione delle opere in progetto alla **categoria C** tra quelle previste al punto 3.2.2 del D.M. 17 gennaio 2018, costituita da *depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiore a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 e 360 m/s*.

11.1.2 Individuazione della scheda di valutazione semplificata

In accordo alla procedura regionale di cui all'allegato 5 della D.G.R. n° IX/2616/2001 si è proceduto a confrontare la stratigrafia di propagazione delle onde di taglio rilevata in sito a mezzo delle prospezioni sismiche con le curve di riferimento attualmente disponibili, estendo in profondità le informazioni disponibili fino al raggiungimento di velocità di propagazione delle onde di taglio pari a 800 m/s, come mostrato nella seguente figura. In merito a tale aspetto si è fatto riferimento ai risultati delle prospezioni HVSR, che evidenziano frequenze di sito inferiori a 1-2 Hz, indicative di elevate profondità del substrato sismico. Si sono inoltre considerate pregresse esperienze condotte dagli scriventi in aree limitrofe ed i risultati delle prospezioni simiche condotte per il PGT di Milano che per i siti di indagine più prossimi al sito di progetto evidenziano profondità comprese tra 97 e 106 m con periodi pari a 0.77 e 0.87 s (siti di indagine 55 e 56).

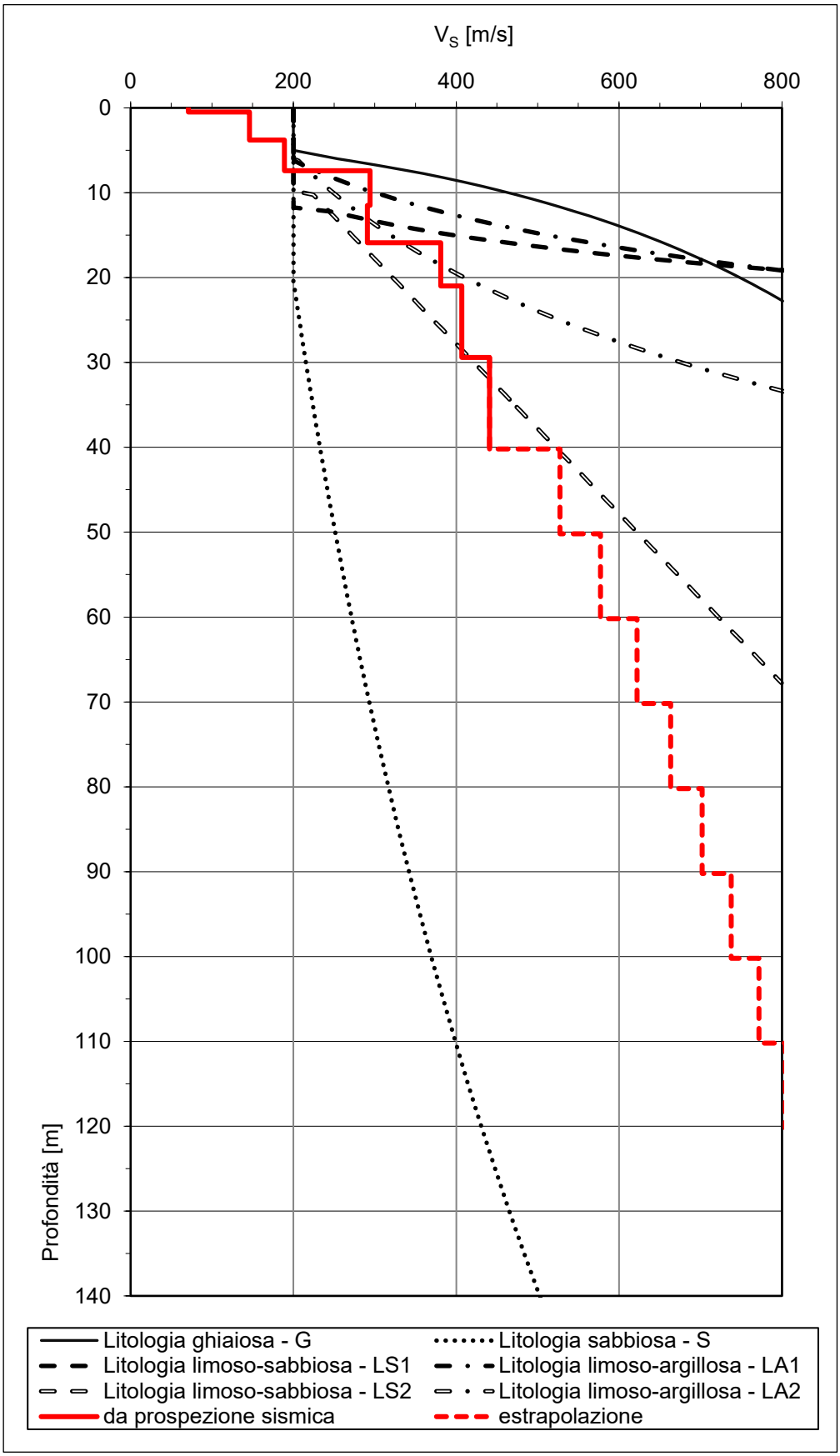


Figura 40 – Stratigrafia di V_S sitospecifica e curve di riferimento regionali

Sulla base del confronto tra la curva sperimentale sitospecifica ottenuta a mezzo delle prospezioni sismiche condotte e le curve di riferimento regionali è stata scelta le scheda di valutazione di seguito indicata:

Scheda di valutazione
S - Litologia sabbiosa

La scheda utilizzata per le successive elaborazioni è riportata di seguito:

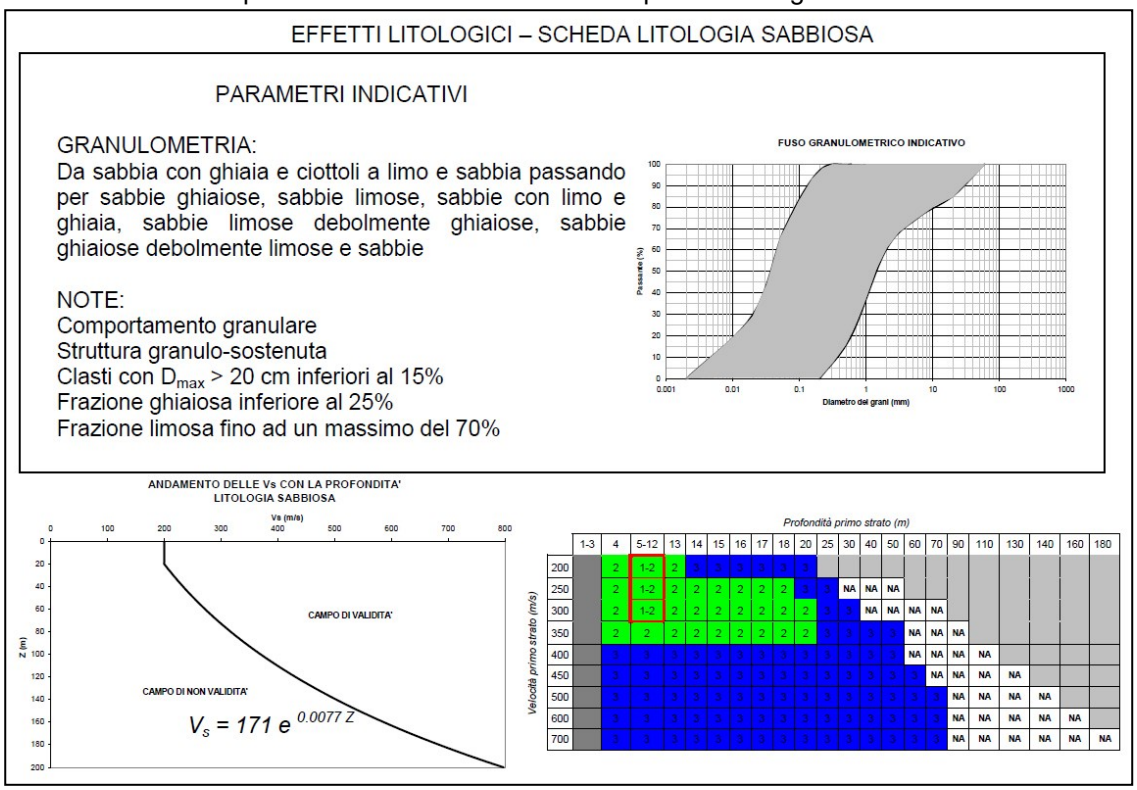

EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA
PARAMETRI INDICATIVI
GRANULOMETRIA:
Da sabbia con ghiaia e ciottoli a limo e sabbia passando per sabbie ghiaiose, sabbie limose, sabbie con limo e ghiaia, sabbie limose debolmente ghiaiose, sabbie ghiaiose debolmente limose e sabbie
NOTE:
Comportamento granulare
Struttura granulo-sostenuta
Clasti con Dmax > 20 cm inferiori al 15%
Frazione ghiaiosa inferiore al 25%
Frazione limosa fino ad un massimo del 70%
FUSO GRANULOMETRICO INDICATIVO
Passante (%)
Diametro dei grani (mm)
ANDAMENTO DELLE Vs CON LA PROFONDITA'
LITOLOGIA SABBIOSA
Vs (m/s)
Z (m)
CAMPO DI VALIDITA'
CAMPO DI NON VALIDITA'
Vs = 171 e 0.0077 Z
Profondità primo strato (m)
Velocità primo strato (m/s)

Figura 41 – Scheda di valutazione adottata

11.1.3 Calcolo del periodo proprio di sito

Per il calcolo del periodo proprio di sito T, necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione, occorre considerare la stratigrafia di velocità di propagazione delle onde di taglio V_S fino alla profondità a cui si raggiunge un valore pari a o superiore a 800 m/s.

Nel caso in esame le prospezioni sismiche condotte fino alla profondità di 40 m da p.c. non hanno individuato il bedrock sismico e per il calcolo del periodo proprio di sito si è fatto riferimento a pregresse esperienze in aree limitrofe ed alle indicazionie derivanti dalle prospezioni sismiche condotte per lo studio di approfondimento sismico nell'ambito del PGT di Milano, estrapolando in profondità i dati disponibili.

Per il calcolo del periodo proprio di sito la direttiva regionale prevede l'utilizzo della seguente relazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^{n} h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} V_{Si} \times h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i}\right)}$$

Si precisa che tale approccio di calcolo non risulta conforme a quanto definito negli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica – ICMS 2008 – e nel DM 17/01/18 che fanno riferimento alla seguente relazione che, a differenza di quella adottata nella procedura regionale, assicura il rispetto della condizione di invarianza di tempo:

$$T = \frac{4 \cdot \sum_{i=1}^{n} h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} h_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{h_i}{V_{Si}}} \right)}$$

Per l'area esaminata si ottengono i valori di periodo proprio di sito di seguito indicati:

Profondità di calcolo [m da p.c.]	*T [s]*
0,00	*0,85*
1,00	*0,84*

Tabella 12 – Periodo proprio di sito

Nella seguente tabella si riportano per confronto i valori di periodo calcolati a mezzo della relazione di cui agli ICMS- 2008 e al DM 17/01/18.

Profondità di calcolo [m da p.c.]	*T [s]*
0,00	*1,03*
1,00	*0,98*

Tabella 13 – Periodo proprio di sito

I periodi calcolati risultano in accordo ai risultati delle prospezioni sismiche HVSR eseguite nell'area.

11.1.4 Calcolo del fattore di amplificazione locale

Per il calcolo fattore di amplificazione litologico locale è necessario individuare dapprima lo spessore e la velocità di propagazione delle onde di taglio dello strato superficiale, definito come il primo strato a partire dal piano di posa delle fondazioni avente spessore minimo di 4 m. Qualora non si dovesse riconoscere un primo strato di spessore adeguato è necessario procedere alla individuazione di uno strato superficiale equivalente avente spessore adeguato ottenuto sommando gli strati individuati con le indagini sismiche; a tale strato si assegna una velocità di propagazione delle onde di taglio pari alla media pesata delle velocità dei singoli strati che lo costituiscono. Per l'ambito di progetto si ottengono i seguenti valori di spessore e velocità di propagazione delle onde di taglio dello strato superficiale equivalente:

Profondità di calcolo [m da p.c.]	*V_{S1} [m/s]*	*H_1 [m]*
0,00	162	7,40
1,00	170	6,40

Tabella 14 – Parametri sismostrato superiore

Sulla base dei valori di spessore e velocità di propagazione delle onde di taglio dello strato superficiale si individuano le equazioni da impiegare per il calcolo del valore di Fa per strutture aventi periodo proprio compreso tra 0.1 e 0.5 s e per strutture aventi periodo proprio compreso tra 0.5 e 1.5 s sulla base della seguente scheda di valutazione.

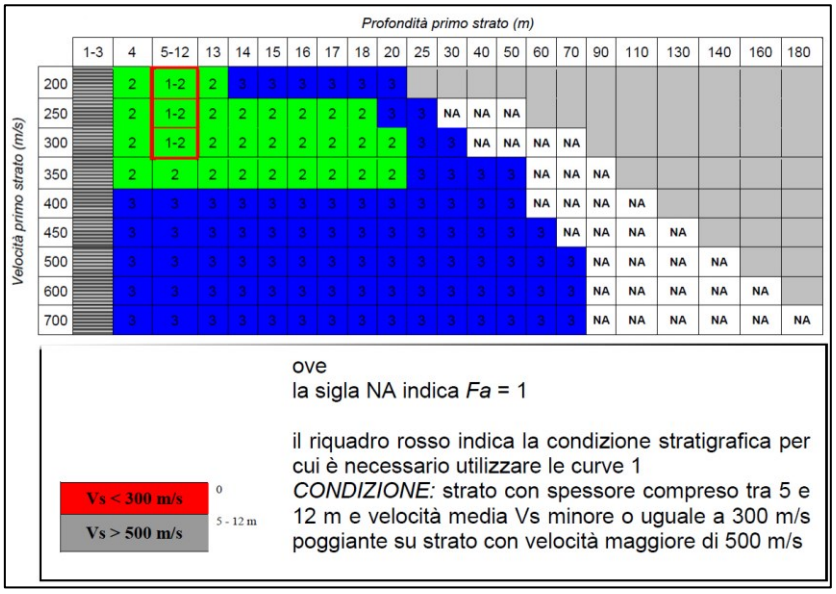

Profondità primo strato (m)
Velocità primo strato (m/s)
1-3 4 5-12 13 14 15 16 17 18 20 25 30 40 50 60 70 90 110 130 140 160 180
200 2 1-2 2 3 3 3 3 3 3
250 2 1-2 2 2 2 2 2 3 3 NA NA NA
300 2 1-2 2 2 2 2 2 2 3 3 NA NA NA NA
350 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 NA NA NA
400 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 NA NA NA NA
450 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 NA NA NA NA
500 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 NA NA NA NA
600 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 NA NA NA NA NA
700 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 NA NA NA NA NA NA
ove
la sigla NA indica Fa = 1
il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1
CONDIZIONE: strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media Vs minore o uguale a 300 m/s poggiante su strato con velocità maggiore di 500 m/s
Vs < 300 m/s
Vs > 500 m/s
0
5 - 12 m

Figura 42 – Scheda regionale per analisi sismica semplificata di 2° livello

Nel caso in esame le equazioni individuate per strutture con periodo compreso tra 0.1 e 0.5 s e per strutture con periodo compreso tra 0.5 e 1.5 s corrispondono alla curva 2.

Strutture aventi periodo proprio T compreso tra 0.1 e 0.5 s

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	$0.03 \le T \le 0.50$	$0.50 < T \le 1.00$	$T > 1.00$
	$Fa_{0.1\text{-}0.5} = -12.21\ T^2 + 7.79\ T + 0.76$	$Fa_{0.1\text{-}0.5} = 1.01 - 0.94\ \ln T$	$Fa_{0.1\text{-}0.5} = 1.00$
2	$0.03 \le T \le 0.45$	$0.45 < T \le 0.80$	$T > 0.80$
	$Fa_{0.1\text{-}0.5} = -8.65\ T^2 + 5.44\ T + 0.84$	$Fa_{0.1\text{-}0.5} = 0.83 - 0.88\ \ln T$	$Fa_{0.1\text{-}0.5} = 1.00$
3	$0.03 \le T \le 0.40$	$0.50 < T \le 0.55$	$T > 0.55$
	$Fa_{0.1\text{-}0.5} = -9.68\ T^2 + 4.77\ T + 0.86$	$Fa_{0.1\text{-}0.5} = 0.62 - 0.65\ \ln T$	$Fa_{0.1\text{-}0.5} = 1.00$

Strutture aventi periodo proprio T compreso tra 0.5 e 1.5 s

Curva			
1		$0.08 \le T \le 1.80$	
		$Fa_{0.5\text{-}1.5} = 0.57\ T^3 - 2.18\ T^2 + 2.38\ T + 0.81$	
2	3	$0.08 \le T < 0.80$	$0.80 \le T \le 1.80$
		$Fa_{0.5\text{-}1.5} = -6.11\ T^3 + 5.79\ T^2 + 0.44\ T + 0.93$	$Fa_{0.5\text{-}1.5} = 1.73 - 0.61\ \ln T$

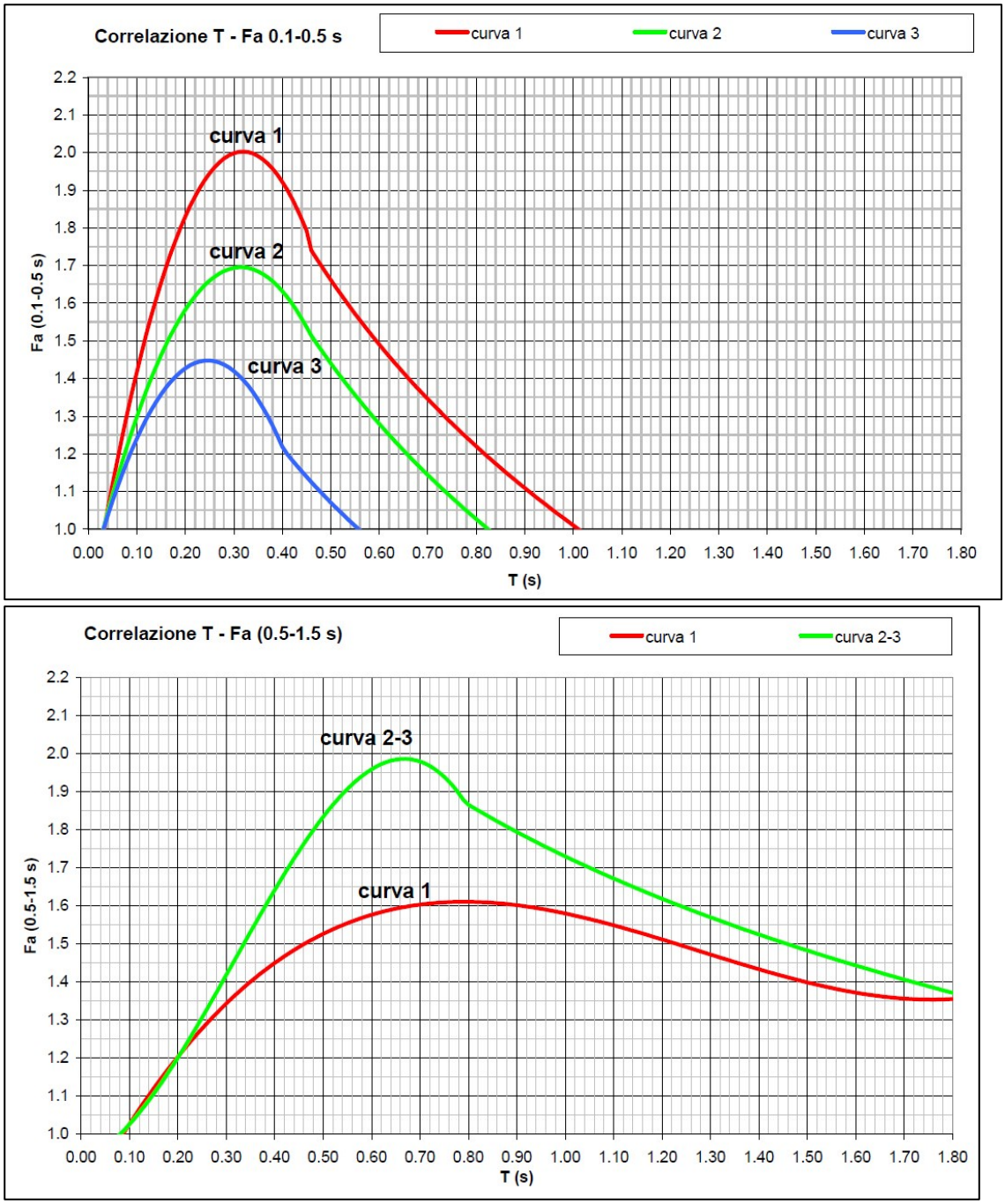


Figura 43 – Curve per il calcolo del coefficiente di amplificazione Fa

Utilizzando le equazioni sopra riportate a partire dai valori di periodo proprio di sito precedentemente calcolati si sono determinati i valori del coefficiente di amplificazione litologica Fa di seguito mostrati:

Profondità di calcolo [m da p.c.]	*Periodo proprio struttura*	
	0.1 ÷ 0.5 [s]	*0.5 ÷ 1.5 [s]*
0,00	1,00	1,83
1,00	1,00	1,84

Tabella 15 – Coefficienti di amplificazione litologica calcolati

11.1.5 Confronto con i valori di soglia comunale

Per il comune di Noviglio, i valori di soglia del Fattore di amplificazione F_a forniti da Regione Lombardia, differenziati per categoria di suolo di fondazione e per periodo, sono riportati nelle seguenti tabelle:

VALORI DI Fa DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1 E 0.5s				
Comune	Suolo di tipo B	**Suolo di tipo C**	Suolo di tipo D	Suolo di tipo E
Bulciago	1,4	**1,9**	2,2	2,0

Tabella 16 – Coefficienti di amplificazione di soglia comunale F_{as}

VALORI DI Fa DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5 E 1.5s				
Comune	Suolo di tipo B	**Suolo di tipo C**	Suolo di tipo D	Suolo di tipo E
Bulciago	1,7	**2,4**	4,2	3,1

Tabella 17 – Coefficienti di amplificazione di soglia comunale F_{as}

Per procedere al confronto con i valori di soglia dei valori del coefficiente di amplificazione litologica precedentemente determinati, arrotondati alla prima cifra decimale, occorre associare la variabilità statistica pari a ±0.1 come precisato nella procedura regionale. I valori così ottenuti, validi per una profondità di calcolo comprese tra 0,00 e 1,00 m da p.c., sono mostrati nella seguente tabella in cui sono messi a confronto con i valori di soglia definiti per il comune considerato per la categoria di sottosuolo di appartenenza:

Ambito	*Periodo proprio struttura*	
	0.1 – 0.5 [s]	*0.5 – 1.5 [s]*
Ambito di progetto - ***Fac***	**1.0÷1.1**	**1.7÷1.9**
Valore di soglia comunale per suoli di categoria C - ***Fas***	**1.9**	**2.4**

Tabella 18 – Confronto coefficienti di amplificazione litologica

I valori del fattore di amplificazione litologica Fa ricavati a mezzo dell'analisi di approfondimento di secondo livello, tenuto conto della variabilità statistica, sono risultati in ogni caso inferiori ai valori di soglia comunale; pertanto per la determinazione delle azioni sismiche di progetto, in assenza di più accurate analisi di risposta sismica locale di III livello, **si potranno impiegare gli spettri di risposta relativi alla categoria sismica C per tutte le strutture in progetto.**

11.2 Analisi di suscettività alla liquefazione – approfondimento di III livello

Ai fini della valutazione delle azioni simiche di progetto è necessario valutare le modifiche in frequenza ed ampiezza del segnale sismico di base agente al bedrock indotte da fenomeni di amplificazione stratigrafica e topografica sitospecifici.

11.2.1 Generalità

Il fenomeno della liquefazione interessa depositi sabbiosi e sabbioso-limosi saturi che durante e immediatamente dopo una sollecitazione di tipo ciclico subiscono una drastica riduzione della resistenza al taglio, a seguito della quale le condizioni di stabilità non sono più garantite e la massa di terreno interessata dal fenomeno comincia ad assestarsi fino a che la nuova configurazione del terreno non è compatibile con la diminuita resistenza al taglio.

I parametri che governano il fenomeno sono rappresentati in generale da:

- condizioni di drenaggio e grado di saturazione del deposito;
- granulometria del deposito;
- stato di addensamento;
- intensità, forma spettrale e durata delle sollecitazioni cicliche;
- stato tensionale iniziale;
- storia tensionale e deformativa del deposito;
- fenomeni di aging.

Durante un evento sismico vengono indotte nel terreno sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche verso la superficie, mentre la tensione geostatica rimane invariata. In conseguenza dell'applicazione di sollecitazioni cicliche, la struttura granulare del terreno tende a diventare più compatta, ma essendo molto più compressibile dell'acqua, la sollecitazione viene trasmessa all'acqua interstiziale. Se l'incremento della pressione interstiziale è tale da raggiunge il valore della tensione geostatica di confinamento, il terreno inizia a subire deformazioni, la cui entità dipende essenzialmente dal suo grado di addensamento.

Se il terreno ha una modesta densità relativa la pressione interstiziale aumenterà molto rapidamente fino a valori prossimi a quelli della tensione geostatica di confinamento e il terreno comincerà a subire grosse deformazioni, con totale annullamento della resistenza a taglio.
Se il terreno viceversa è addensato, esso potrà avere alla fine dei cicli di carico una pressione interstiziale pari alla tensione geostatica di confinamento ma, poiché i terreni addensati si deformano con aumento di volume per il fenomeno della dilatanza, la pressione interstiziale subirà una brusca caduta e il terreno riuscirà a sviluppare una resistenza a taglio sufficiente a sostenere le sollecitazioni applicate.
Poiché la tensione geostatica aumenta con la profondità mentre l'ampiezza dello sforzo di taglio indotto dal sisma diminuisce, ne consegue che la resistenza alla liquefazione di un terreno cresce con la profondità. Numerose evidenze sperimentali dimostrano infatti che il fenomeno della liquefazione può generarsi fino a profondità massime di circa 20 m.

Occorre inoltre considerare che il terreno può essere soggetto a sforzi di taglio statici dovuti alla presenza di strutture in superficie; in tali condizioni l'innesco del fenomeno della liquefazione è condizionato anche dal rapporto tra le tensioni di taglio indotte dalla sollecitazione sismica e quelle statiche preesistenti.
La resistenza alla liquefazione è infine influenzata dall'entità dei legami intergranulari e di cementazione connessi a fenomeni di aging che si sviluppano nel tempo. Inoltre la struttura di un deposito antico è in genere più stabile per gli effetti di ripetute sollecitazioni cicliche subite nel tempo che, qualora non abbiano dato luogo a fenomeni di liquefazione, avranno prodotto un significativo incremento della resistenza a taglio ciclica.
In caso di accertata liquefacibilità del terreno di fondazione occorrerà valutare le deformazioni indotte e le conseguenze delle stesse sulla funzionalità delle opere previste in progetto.

11.2.2 Primo grado di approfondimento

Ai sensi delle modalità operative riassunte nelle schede di approfondimento di cui alla D.G.R. X/5001 del 30 marzo 2016 il primo grado di approfondimento comporta l'accertamento dell'assenza di elementi predisponenti e scatenanti il fenomeno precisando che i terreni di fondazione sono da non ritenersi suscettibili a fenomeni di liquefazione in occasione dell'evento sismico ed il sito è da considerarsi stabile quando si verifichi almeno una delle seguenti condizioni:

- l'accelerazione massima attesa a piano campagna in condizioni di free-field è inferiore a 0.1 g;
- la profondità media stagionale della falda è superiore a 15 m da p.c.;
- sono presenti depositi sabbiosi puliti con resistenza penetrometrica dinamica normalizzata $(N_1)_{60}$ superiore a 30 o con resistenza penetrometrica statica normalizzata $q_{c1N} > 180$;
- sono presenti terreni con distribuzione granulometrica esterna ai limiti indicati nel grafico seguente

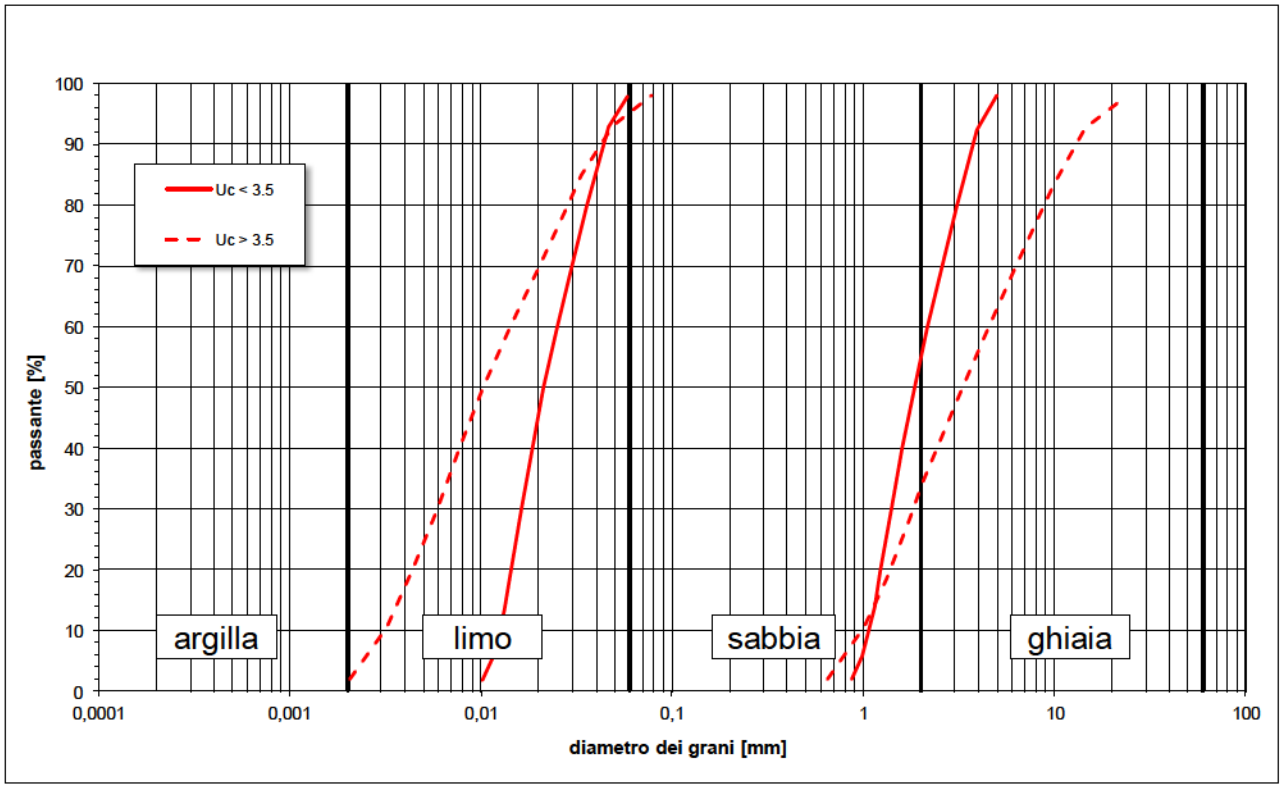


Figura 44 – Campo di liquefacibilità potenziale

Nel caso in esame si osserva che:

- la soggiacenza della superficie di saturazione piezometrica è prossima al piano campagna;
- sono presenti terreni sabbioso-limosi aventi distribuzione granulometrica interna ai campi di potenziale liquefacibilità;
- le resistenze penetrometriche normalizzate nei terreni sabbioso-limosi sono inferiori a 30;

I terreni di fondazione sono in ogni caso da non ritenersi suscettibili a fenomeni di liquefazione in occasione dell'evento sismico atteso per tempi di ritorno pari a 712 anni (Stato limite SLV) e la verifica a liquefazione può essere omessa in accordo al punto 7.11.3.4.2 del D.M. 17/01/18 in quanto:

- l'accelerazione massima a piano fondazione in condizioni di free-field, calcolata sulla base di un sottosuolo di categoria sismica C è pari a 0.057x1.5= **0.085 g** per un tempo di ritorno di 712 anni (condizioni di Stato Limite Ultimo di Salvaguardia della Vita per costruzioni di tipo 2 e classe d'uso III).

Alla luce di quanto sopra esposto è quindi possibile accertare la presenza di alcune delle condizioni predisponenti il fenomeno della liquefazione che è tuttavia escludibile in virtù dell'assenza di fenomeni scatenanti in ragione della modesta severità delle accelerazioni sismiche attese per eventi con tempo di ritorno di 712 anni.

Pertanto, sulla base delle considerazioni esposte ai punti precedenti, **il sito è da considerarsi stabile nei confronti di fenomeni di liquefazione e non è necessario procedere con ulteriori gradi di approfondimento**.

Firmato digitalmente da

Claude Raymond Van Steenwinkel

SerialNumber = TINIT-VNSCDR59E20Z103X

Giudizio di fattibilità geologica e aspetti progettuali

Quanto esposto ai paragrafi precedenti della presente relazione **l'intervento in progetto con l'assetto geologico sitospecifico**.

Gli approfondimenti sismici di II e III livello condotti sulla base dei risultati delle indagini sitospecifiche hanno permesso di attribuire i terreni di fondazione in esame alla **categoria sismica C** e di verificare l'assenza di superamento dei valori di soglia comunale di accelerazione sia per strutture con periodo proprio compreso tra 0.1 e 0.5 s che per strutture con periodo proprio compreso tra 0.5 e 1.5 s.

Gli approfondimenti condotti hanno consentito inoltre di appurare che il sito è da considerarsi stabile nei confronti di fenomeni di liquefazione e non è pertanto necessario procedere con ulteriori gradi di approfondimento.

Per quanto attiene agli aspetti geotecnici le indagini eseguite hanno evidenziato la presenza di un contesto geotecnico caratterizzato da terreni sabbioso limosi con scarso grado di addensamento fino a profondità di 4÷6 m da p.c., successivamente crescente in profondità; in tale contesto si ritiene adeguato il ricorso a fondazioni su pali o a platee con pali aventi la funzione di controllo dei cedimenti. In relazione all'assetto litostratigarfico si ritiene adeguato l'impiego di pali CFA o FDP.

Il livello piezometrico di progetto, definito sulla base dell'analisi delle oscillazioni piezometriche estesa ad un intervallo temporale di circa 40 anni, è fissato alla quota di +97.9 m s.l.m.. Poiché il progetto prevede che gli scavi per l'asportazione del coltivo e la regolarizzazione dell'area raggiungeranno la quota di +98.3 m s.l.m. con successivo riporto strutturale alla quota finale di +100.9 m s.l.m. **si escludono interazioni con la superficie di saturazione piezometrica sia in fase di cantiere che nella fase di esercizio dell'opera**.

Per la verifica agli SLU delle opere di fondazione previste in progetto le resistenze di progetto del terreno di fondazione dovranno essere confrontate con il valore di progetto delle azioni assicurando il rispetto delle condizioni:

$$V_d \leq R_d$$
$$H_d \leq S_d$$

con: V_d = valore di progetto delle azioni (componente verticale)
H_d = valore di progetto delle azioni (componente orizzontale)
R_d = valore di progetto della resistenza del terreno nei confronti dei carichi verticali
S_d = valore di progetto della resistenza del terreno nei confronti dei carichi orizzontali

La verifica agli stati limite di servizio (SLE) dovrà essere condotta attraverso la determinazione dei cedimenti delle fondazioni soggette alle azioni di progetto tenendo conto del possibile sviluppo di cedimenti differenziali.

Dott. Geol. Roberto Previati